Firmato digitalmente da
ANDREA BRAMBATI
CN = ANDREA BRAMBATI
C = IT

COMUNE DI
LACCHIARELLA
Città Metropolitana
di Milano

Oggetto

PROCEDURA PER IL RILASCIO DI PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO (PAU) di cui al R.R. n°2 del 25/03/2020

VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE RELATIVA AGLI AMBITI DI TRASFORMAZIONE H1 - H2 PER LA REALIZZAZIONE DI EDIFICI DESTINATI AD ATTIVITA' ECONOMICHE (SETTORE SECONDARIO E TERZIARIO)

Elaborato

A3.4

Titolo dell'elaborato

A3 - ANALISI SPECIFICHE

Relazione geologica di fattibilità e di prima caratterizzazione geotecnica

Proprietà

AF Green s.r.l. - Società Agricola
Strada Provinciale, n°23
Località Cascina Postino, 26815 - Massalengo (LO)
P.IVA: 01541410195

Data
Settembre 2021

Progettista:

Dott. Geologo Andrea Brambati
Corso Lodi, n°26 - 20135 Milano
Tel.: +39 348 3939629
Mail: andreabrambati@alice.it
Pec: andreabrambati@epap.sicurezzapostale.it

timbro e firma

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA
ANDREA BRAMBATI
geologo specialista
Albo n 1535 AP
sezione A

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE
   - 1.1. Premesse
   - 1.2. Quadro normativo di riferimento
   - 1.3. Elenco della documentazione consultata
   - 1.4. Vincoli, pianificazione e norme geologiche

2. QUADRO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO
   - 2.1. Modello Geologico di riferimento
   - 2.2. Geografia dell'area e circolazione idrica superficiale
   - 2.3. Interferenze con il reticolo irriguo e idrografico di scolo
   - 2.4. Componente geologica e geomorfologica
   - 2.5. Componente idrogeologica
   - 2.6. Gli acquiferi captati

3. PROGRAMMA DELLE INDAGINI IN SITO
   - 3.1. Indagini pregresse
   - 3.2. Indagini svolte
     - *3.2.1. Prove penetrometriche dinamiche SCPT*
     - *3.2.2. Verifica delle condizioni piezometriche*
     - *3.2.3. Prove di infiltrazione*
     - *3.2.4. Prova MASW*
     - *3.2.5. Prospezione geofisica con metodo sismico a rifrazione*
     - *3.2.6. Sondaggio geognostico a carotaggio continuo*
     - *3.2.7. Prove geotecniche in foro*
     - *3.2.8. Analisi granulometriche*

4. ANALISI DEGLI ASPETTI GEOTECNICI
   - 4.1. Modello Geotecnico
   - 4.2. Caratterizzazione geotecnica preliminare

5. ANALISI DEGLI ASPETTI SISMICI

5.1. Individuazione della pericolosità del sito

5.2. Valutazione dei parametri sismici sito-specifici (approccio semplificato)

5.3. Analisi della suscettibilità a liquefazione

5.4. Spettri di risposta elastici

5.5. Verifica sismica di 2° livello

6. CONCLUSIONI

6.1. Analisi e valutazioni

6.2. Prospettive

APPENDICI

N°	*Titolo*
1	Diagrammi prove penetrometriche pregresse
2	Diagrammi prove penetrometriche effettuate
3	Ricognizione fotografica
4	Certificati analisi granulometriche

1.1. Premesse

La presente relazione, redatta in conformità a quanto previsto dall'art. 26 c.1 lett. a) e) del D.P.R. 207/2010, costituisce l'elaborato dello studio preliminare eseguito allo scopo di definire la modellazione geologica e le caratteristiche geotecniche di massima dei terreni situati presso i due Ambiti di Trasformazione H1 e H2 in Comune di Lacchiarella (MI), che saranno interessati da interventi di realizzazione di edifici destinati ad attività economiche (settori secondario e terziario).

Il comparto in esame insiste sulla porzione nord-occidentale del territorio comunale di Lacchiarella, nell'ambito della media pianura milanese. L'area risulta esterna al Parco Agricolo Sud Milano ed è collocata presso il Centro Commerciale all'Ingrosso "Il Girasole"; essa dista circa 1,5 km dal centro abitato del Comune di Lacchiarella, circa 1 km dal casello autostradale di Binasco dell'A7 Milano-Genova e poco meno di 16 km dal casello autostradale dell'A1 di Melegnano.

Si sono concordemente previste quale oggetto di incarico le attività seguenti:
- sopralluoghi per la presa visione dello stato di fatto e attività di censimento e raccolta dati;
- verifica della compatibilità degli interventi con il quadro progettuale descritto negli elaborati forniti dal committente, il quadro urbanistico definito dalla pianificazione comunale, il quadro geo-ambientale ricostruito in base ai dati pubblici e/o già in possesso, il quadro normativo/legislativo derivante dalle norme sia comunali (PGT) che sovraordinate;
- attività di studio e indagine relative alle componenti geologica e idrogeologica e definizione del Modello Geologico del sottosuolo;
- attività di caratterizzazione e modellazione geotecnica e sismica del sito e definizione del Modello Geotecnico del sottosuolo;
- valutazione della compatibilità geologica degli interventi previsti e stesura della presente *Relazione geologica di fattibilità e di prima caratterizzazione geotecnica*.

Si sono viceversa concordemente escluse dalle prestazioni oggetto di incarico le seguenti attività:
- Progettazione e D.L. di interventi di qualunque tipo e/o realizzazione degli interventi;
- attività di progettazione e/o più in generale di tipo professionale inerenti impianti tecnologici di ogni tipo e aspetti e problemi non connessi alle opere del sottosuolo.

Nel prosieguo della relazione:
- il *Capitolo 1* illustra i principali obiettivi del lavoro, evidenziando e analizzando tutte le fasi che hanno permesso la redazione del presente documento. Nella parte introduttiva sono altresì riportati i riferimenti normativi applicati e l'elenco della bibliografia consultata;
- il *Capitolo 2* descrive l'assetto litologico, stratigrafico, idrogeologico, morfologico e, più in generale, gli elementi di pericolosità geologica del territorio (Modello Geologico di riferimento);
- il *Capitolo 3* espone le indagini geognostiche svolte in ottemperanza a quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni entrate in vigore il 22 marzo 2018, e finalizzate alla definizione delle caratteristiche stratigrafiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione;
- nel *Capitolo 4* è riportata la modellazione geotecnica preliminare dei terreni di fondazione;
- nel *Capitolo 5* viene riportata ed esposta la caratterizzazione dei parametri sismici. In questa sezione si ipotizza che i fabbricati in progetto non rientrino nell'elenco degli "*edifici strategici e rilevanti*" (D.D.U.O. n. 199904 del 21.11.2003), bensì che gli stessi ricadano in Classe d'Uso II.

Il territorio del Comune di Lacchiarella; in campitura rossa, l'area di studio.

Quadro urbanistico di progetto: azzonamento di massima ambito H1.

AMBITO	H1	H2A	H2B/H2C	H2	H1 + H2
AREE PUBBLICHE					
Viabilità	2.290	6.745		6.745	9.035
Percorsi e spazi pedonali		392			
Pista ciclopedonale		1.835	135	1.970	1.970
Parcheggi		3.468		3.468	3.468
Verde stradale		1.313		1.313	1.313
Verde urbano	22.644	15.010	24.453	39.463	62.107
TOTALE AREE PUBBLICHE	24.934	28.763	25.113	53.876	78.810
Rogge e canali		1.055	460	1.515	1.515
AREE PRIVATE					
Edifici	37.900	99.960	52.540	152.500	190.400
Percorsi pedonali		1.858		1.858	1.858
Viabilità interna e aree operative	18.131	51.445	24.913	76.358	94.489
Parcheggi pertinenziali	15.150	7.443	5.114	12.557	27.707
Verde privato	37.026	64.023	48.025	112.048	149.074
Vasche d'acqua		4.075		4.075	4.075
TOTALE AREE PRIVATE (Sf)	108.207	228.804	130.592	359.396	467.603
Rogge e canali	464	2.374	1.164	3.538	4.002
TOTALE AMBITO (St)	**133.605**	**260.996**	**157.329**	**418.325**	**551.930**

H1	H2A	H2B/H2C	H2	H1 + H2
614	626		626	1.240
	686	1.059	1.745	1.745
	416		416	416
15.996	4.130	4.726	8.856	24.852
16.610	5.858	5.785	11.643	28.253
	377	435	812	812

Azzonamento ambito H2 e legenda generale.

1.2. Quadro normativo di riferimento

- O.P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*";
- Eurocodice 7 "*Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali*";
- Eurocodice 8 "*Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici*";
- D.Lgs. 23 febbraio 2010, n. 49 "*Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni*";
- D.G.R. 30 novembre 2011, n. IX/2616 "*Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12, approvati con D.G.R. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374*";
- D.G.R. 2129/2014 "*Classificazione sismica regionale*";
- L.R. 33/2015 "*Disposizioni in materia di costruzioni in zona sismica*";
- D.G.R. 30 marzo 2016, n. X/5001 "*Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)*";
- D.P.C.M. 27 ottobre 2016 "*Approvazione del Piano di gestione del rischio di alluvioni del distretto idrografico Padano*";
- D.G.R. 10/6738 del 19 giugno 2017 "*Disposizioni regionali concernenti l'attuazione del Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, ai sensi dell'art. 58 delle norme di attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del bacino del fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7 dicembre 2016 con Deliberazione n. 5 dal Comitato istituzionale dell'autorità di bacino del fiume Po*";
- R.R. n. 7 del 23 novembre 2017 "*Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)*";
- D.M. 17 gennaio 2018 "*Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»",* pubblicato sulla G.U. n. 8 del 20 febbraio 2018;
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 Cons. Sup. LL.PP. "*Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni»" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"*;
- R.R. n. 8 del 19/04/2019 "*Disposizioni sull'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al R.R. 23/11/2017, n. 7 (Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della L.R. 11/03/2005, n. 12 "Legge per il governo del territorio")"*, pubblicato sul Supplemento 17;
- D.G.R. 9 settembre 2019 - n. XI/2120 "*Aggiornamento dell'allegato 1 ai criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57 della l.r. 11 marzo 2005, n. 12 approvati con d.g.r. 30 novembre 2011, n. 2616*";
- L.R. n. 18 del 26 novembre 2019 "*Misure di semplificazione e incentivazione per la rigenerazione urbana e territoriale, nonché per il recupero del patrimonio edilizio esistente. Modifiche e integrazioni alla legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio) e ad altre leggi regionali*".

1.3. Elenco della documentazione consultata

Per la redazione del presente documento si è proceduto alla consultazione dei seguenti documenti:

- Area ex Omar - Piano di caratterizzazione ai sensi del D.M. 471/99, redatto dal Dott. Geol. Umberto Locati nel marzo 2000;
- Relazione Tecnica allegata alla richiesta di autorizzazione per la realizzazione di n. 3 pozzi per innaffiamento aree verdi a servizio del Piano di Recupero di Villamaggiore in Comune di Lacchiarella, redatto da Teknoprogetti nel maggio 2009;
- Relazione Geologica allegata alla richiesta di autorizzazione per la realizzazione di n. 3 pozzi per innaffiamento aree verdi a servizio del Piano di Recupero di Villamaggiore in Comune di Lacchiarella, redatto da Teknoprogetti nel maggio 2009;
- Area ex Omar - Descrizione delle risultanze del Piano di Caratterizzazione di dettaglio ai sensi del D.Lgs. 152/06, redatto dalla società Globo Service S.r.l. nel luglio 2009;
- Progetto operativo di messa in sicurezza e bonifica Lotto 1 e Lotto 2 Area ex Omar, redatto dallo Studio Tedesi nel maggio 2011;
- Studio geologico del territorio comunale secondo la D.G.R. n. 8/7374 del 28/05/2008 (aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del territorio in attuazione dell'art. 57 comma 1 della L.R. 11 marzo 2005 n. 12), redatto dallo Studio Geologico Trilobite nel novembre 2011 e facente parte dei documenti del PGT del Comune di Lacchiarella;
- Relazione Tecnica allegata alla richiesta di concessione per piccola derivazione di acque sotterranee da n. 2 pozzi ad uso innaffiamento aree a verde a servizio del Super Condominio "Borgo di Villamaggiore", Frazione Villamaggiore, Comune di Lacchiarella, redatta da Ambiente sc nel novembre 2013.

1.4. Vincoli, pianificazione e norme geologiche

In relazione agli aspetti urbanistici, si è fatto riferimento alle norme e alle prescrizioni fornite dalla L.R. 12/05, art. 57 "*Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio*" e dalle relative Delibere attuative, nonché da quanto prescritto per il territorio comunale nell'ambito della normativa di attuazione. Il Comune di Lacchiarella, nella seduta di Consiglio Comunale del 4 ottobre 2012, ha approvato il PGT. Il Piano di Governo del Territorio approvato nel 2012 è rimasto efficace sino al 2019. Nella seduta di Consiglio Comunale del 24/07/2019 è stato approvato il nuovo Piano di Governo del Territorio, nonché i piani e gli studi correlati, con Deliberazione di Consiglio Comunale n. 22.

Il territorio comunale di Lacchiarella risulta suddiviso in 3 classi di fattibilità geologica; queste classi, distinte in funzione delle loro caratteristiche di propensione al dissesto idrogeologico e alle condizioni di edificabilità, sono le seguenti:
CLASSE 2 - FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI
CLASSE 3 - FATTIBILITÀ CON CONSISTENTI LIMITAZIONI
CLASSE 4 - FATTIBILITÀ CON GRAVI LIMITAZIONI.

Questa zonizzazione geologica del territorio comunale ha come finalità quella di fornire indicazioni in merito ad attitudini e vincoli per la formulazione e la valutazione delle proposte di pianificazione, pertanto precede le proposte urbanistiche relative alla definizione delle aree di possibile espansione. In funzione delle proposte dell'ambito di intervento in esame, nel prosieguo della relazione saranno definite in termini più puntuali le condizioni di fattibilità geologica delle opere previste, considerando l'individuazione delle attitudini e delle limitazioni connesse alle caratteristiche del sottosuolo, nonché le prescrizioni tecniche che costituiscono parte integrante delle norme del PGT.

In sede di formulazione delle proposte di pianificazione e di localizzazione delle aree di espansione, nelle fasce di transizione tra le varie classi occorrerà tenere conto anche delle indicazioni fornite per la classe dotata di caratteristiche più scadenti; in tali situazioni, le verifiche da effettuare a supporto della progettazione degli interventi dovranno dimostrare che le opere previste non muteranno in senso peggiorativo la situazione geostatica esistente, anche prevedendo opere a corollario in grado di migliorare l'assetto idro-geo-morfologico complessivo.

La carta di fattibilità geologica viene desunta dalla carta dei vincoli, che individua le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative in vigore di contenuto geologico, e dalla carta di sintesi, che propone una zonazione del territorio in funzione dello stato di pericolosità geologico-geotecnica e della vulnerabilità idraulica ed idrogeologica attribuendo un valore di classe di fattibilità a ciascun poligono.

L'area d'intervento ricade prevalentemente nella **Sottoclasse di fattibilità geologica 3b** con consistenti limitazioni all'edificabilità, per problematiche di pericolosità legate all'assetto idrogeologico (bassa soggiacenza della falda, che si attesta a profondità inferiori a 2,5 m dal piano campagna locale).

Per tale sottoclasse "*si sconsiglia l'insediamento di industrie insalubri data l'elevata vulnerabilità dell'acquifero e la realizzazione di box e scantinati interrati. Se le fondazioni sono di tipo indirette (pali, micropali) nella relazione ad accompagnamento del progetto dovranno essere indicate le metodiche che si intende adottare al fine di evitare l'interferenza fra le acque superficiali e la falda freatica. L'elevata soggiacenza della falda comporta inoltre una riduzione della capacità portante*

dei terreni di fondazione, pertanto dovranno effettuarsi indagine specifiche finalizzate alla determinazione dei parametri geotecnici".

Indagini preventive necessarie
In tali aree si rende necessaria l'esecuzione di puntuali indagini geotecniche (apertura di trincee, prove penetrometriche, sondaggi geognostici), la misurazione diretta della soggiacenza della falda, e la valutazione delle eventuali oscillazioni stagionali della stessa.
Le indagini, dovranno essere mirate al controllo delle condizioni di stabilità degli scavi, dell'efficacia delle opere di sostegno, dell'interazione struttura-terreno ed all'interferenza con la sottostante falda.
Gli studi dovranno porre particolare attenzione alle soluzioni idrogeologiche più idonee al fine di salvaguardare gli acquiferi.
Gli studi geologico-geotecnici dovranno essere redatti nel rispetto delle prescrizioni contenute nelle normative vigenti, con particolare riferimento al D.M. 17 gennaio 2018 per ogni singolo progetto.

Interventi da prevedere in fase progettuale
In tutti i casi, dovranno essere previste opere di salvaguardia alla falda tramite la realizzazione di idonee opere di smaltimento delle acque superficiali e non; ciò, in considerazione del grado di permeabilità dei depositi alluvionali al fine di evitare possibili inquinamenti. Dovranno essere previsti interventi di impermeabilizzazione per ridurre l'interferenza struttura-falda tramite interventi che prevedano, durante le fasi di scavo per la realizzazione delle fondazioni della struttura, l'adozione di idonee misure (es: well-point) atte all'allontanamento dell'acqua di falda nelle fasi di realizzazione e posa delle fondazioni.

Per le aree ricadenti in classe di fattibilità 3, l'edificabilità può comunque essere attuata con l'adozione di normali accorgimenti costruttivi e/o di preventiva salvaguardia idrogeologica, opportunamente dimensionati sulla base delle risultanze delle indagini geognostiche che devono puntualmente valutare le condizioni limitative all'edificabilità.

Per quanto riguarda la componente sismica, il Comune di Lacchiarella, secondo la classificazione dei comuni lombardi di cui alla D.G.R. 11 luglio 2014, n. X/2129 "*Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000, art.3, c. 108, lett. d)*", entrata in vigore il 10 aprile 2016 (v. D.G.R. 8 ottobre 2015, n. X/4144), ricade in **Zona sismica 3**, con 0,05<ag<0,15, zona ove possono verificarsi forti terremoti ma rari.

L'area di intervento è classificata all'interno dello scenario di **Pericolosità Sismica Locale Z4a**, Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi - effetti di amplificazione litologica, della D.G.R. 30 novembre 2011, n. IX/2616, Allegato 5. Nelle zone PSL Z4 i comuni in Zona sismica 3 devono effettuare gli approfondimenti di II° livello se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile.

Il p.to 2.3.2. dell'Allegato 5 alla D.G.R. IX/2616 contempla la possibilità di esclusione della verifica a liquefazione per assenza dei fattori scatenanti. Qualora questi siano presenti, per assenza dei fattori predisponenti, salvo utilizzare procedure di analisi avanzata che richiedono la descrizione adeguata del comportamento meccanico in condizioni cicliche, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico.

L'area di intervento, infine, non è soggetta a vincolo idrogeologico e non è interessata né da esondazioni storiche, né dagli scenari di pericolosità e rischio individuati nel **Piano di Gestione del Rischio Alluvioni** – revisione 2020 (v. Direttiva Alluvioni 2007/60/CE – D.Lgs. 49/2010 "*Adozione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico Padano (PGRA) e del Progetto*

di Variante al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del fiume Po (PAI)"). All'interno del **Piano di emergenza comunale** (redatto nel 2013) e del **Documento semplificato del rischio idraulico comunale** (redatto nel settembre 2018 ai sensi del R.R. n. 7 del 23/11/2017 dallo Studio Geologico Trilobite), non si segnalano, per l'area in studio, zone a rischio idraulico o soggette ad allagamento in caso di eventi meteorici eccezionali.

Non essendo attualmente approvato uno studio sul **Reticolo Idrico Minore**, sussistono i vincoli del R.D. 368/1904 e del R.D. 523/1904.

Nei pressi del nucleo cascinale di Coriasco, al Foglio 7 - mappale 17, è posizionato il pozzo comunale con codice SIF 0151150006, per il quale è stata istituita la fascia di rispetto di 200 m di raggio. Nel seguito si riportano la monografia del pozzo e la documentazione fotografica dello stesso (dati CAP).

Altri tre pozzi si trovano in Comune di Zibido San Giacomo, nella frazione Badile. Essi sono ubicati ampiamente al di fuori degli ambiti di trasformazione H1 – H2 e in una posizione ritenuta di ampia sicurezza, idrologicamente a monte dell'area di intervento, pertanto non sono da considerarsi potenziali recettori di eventuali contaminazioni che potrebbero generarsi in fase di cantiere o in fase di esercizio.

Ubicazione pozzi per acqua nella frazione Badile (Comune di Zibido San Giacomo).

ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)

Dati generali

Codice: 21988
Regione: LOMBARDIA
Provincia: MILANO
Comune: ZIBIDO SAN GIACOMO
Tipologia: PERFORAZIONE
Opera: POZZO PER ACQUA
Profondità (m): 92,00
Quota pc slm (m): ND
Anno realizzazione: 1989
Numero diametri: 2
Presenza acqua: SI
Portata massima (l/s): 43,150
Portata esercizio (l/s): 28,000
Numero falde: 3
Numero filtri: 2
Numero piezometrie: 5
Stratigrafia: SI
Certificazione(*): SI
Numero strati: 12
Longitudine WGS84 (dd): 9,114342
Latitudine WGS84 (dd): 45,339408
Longitudine WGS84 (dms): 9° 06' 51.63" E
Latitudine WGS84 (dms): 45° 20' 21.88" N

(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia

Ubicazione indicativa dell'area d'indagine

DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0,00	60,00	60,00	1000
2	60,00	92,00	32,00	800

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	8,00	10,00	2,00
2	52,00	58,00	6,00
3	80,00	89,00	9,00

POSIZIONE FILTRI

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	52,00	58,00	6,00	400
2	80,00	89,00	9,00	400

MISURE PIEZOMETRICHE

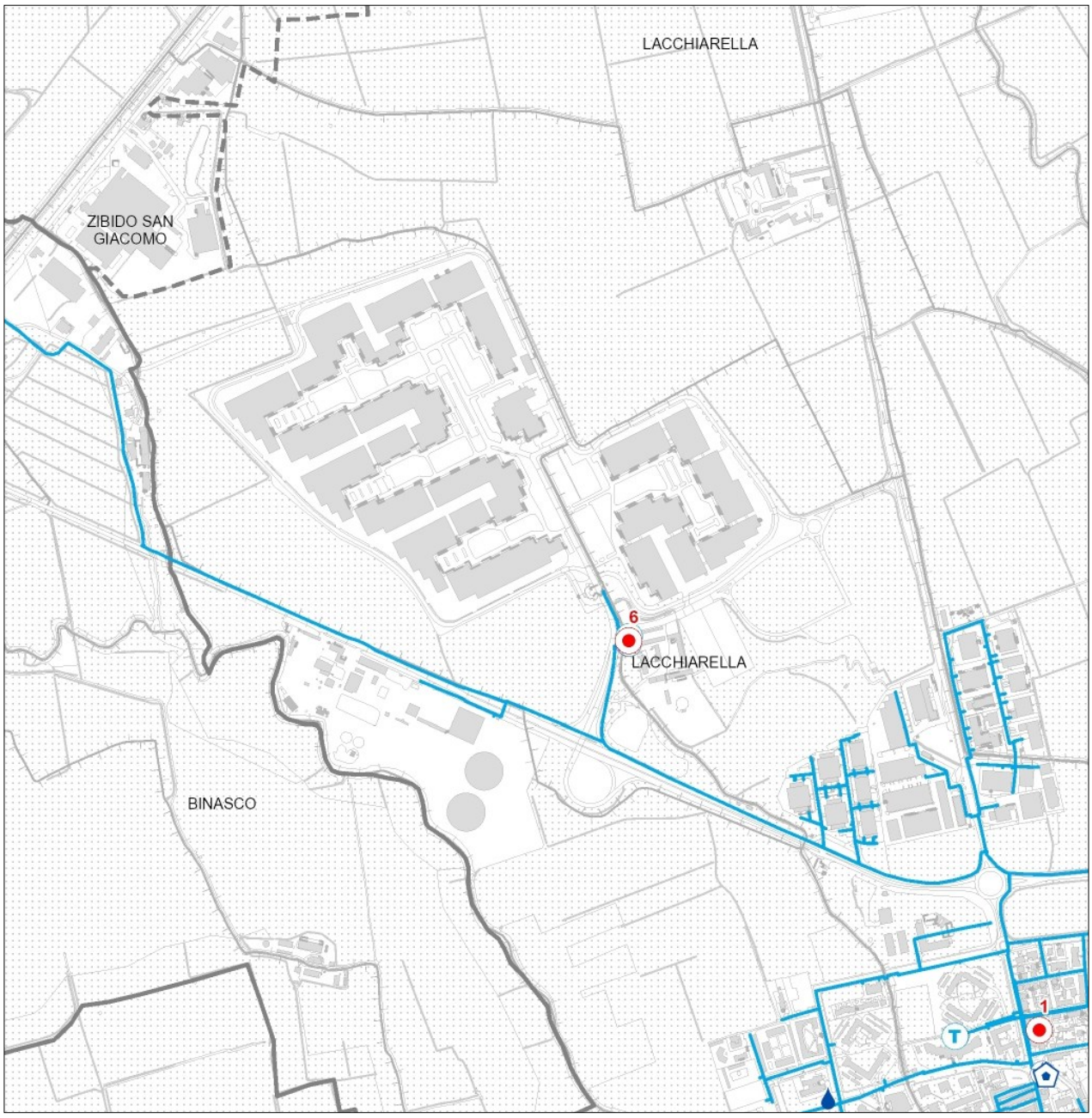
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)

set/1989	3,00	7,30	4,30	43,150
set/1989	3,00	5,50	2,50	28,000
set/1989	3,00	4,60	1,60	20,000
set/1989	3,00	3,95	0,95	20,000
set/1989	3,00	5,50	2,50	32,500

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	0,70	0,70		TERRENO VEGETALE
2	0,70	3,00	2,30		ARGILLA
3	3,00	19,00	16,00		SABBIA FINE ARGILLOSA
4	19,00	21,50	2,50		ARGILLA VERDOGNOLA
5	21,50	48,00	26,50		SABBIA FINE ARGILLOSA
6	48,00	49,00	1,00		ARGILLA GIALLA
7	49,00	60,00	11,00		SABBIA GRANOSA CON POCA GHIAIA
8	60,00	63,00	3,00		ARGILLA GIALLA
9	63,00	72,00	9,00		SABBIA COMPATTA ARGILLOSA
10	72,00	78,00	6,00		ARGILLA GIALLA
11	78,00	91,00	13,00		SABBIA GRANOSA CON POCA GHIAIA
12	91,00	92,00	1,00		ARGILLA GIALLA

ISPRA - Copyright 2018



Condotte rete acquedottistica (dati CAP). Con il numero 6, il pozzo per acqua presso C.na Coriasco.

Documentazione fotografica pozzo per uso potabile presso C.na Coriasco.

LACCHIARELLA - MI -

CODICE_SIF	**0151150006**
IDENTIFICATIVO POZZO	**POZZO 6**

DATA RILEVO	INDIRIZZO	NOME IMPIANTO	DATI CATASTALI
Novembre 2012	Cascina Coriasco	Cascina Coriasco	Foglio 7 Mappale 17

ACCESSO
pubblico

UBICAZIONE
Pozzo situato nell'area CAP in Cascina Coriasco di fronte all'entrata del centro del commercio "Il Girasole"

NOTE

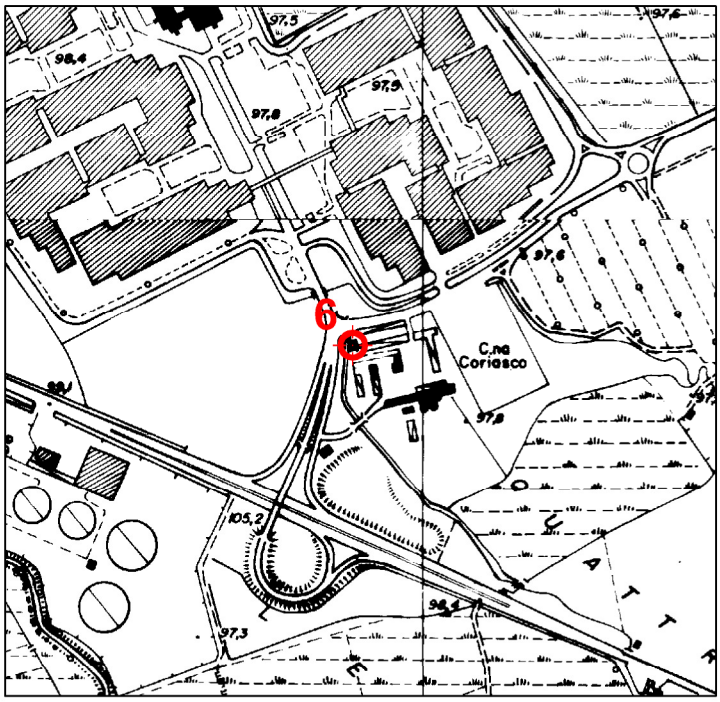
Presenza vertice di riferimento GPS 4285 posto sul cordolo del marciapiede di fronte all'edificio CAP

Quota punto rilevato: 99,74 m

Profondità testa pozzo: 1,87 m

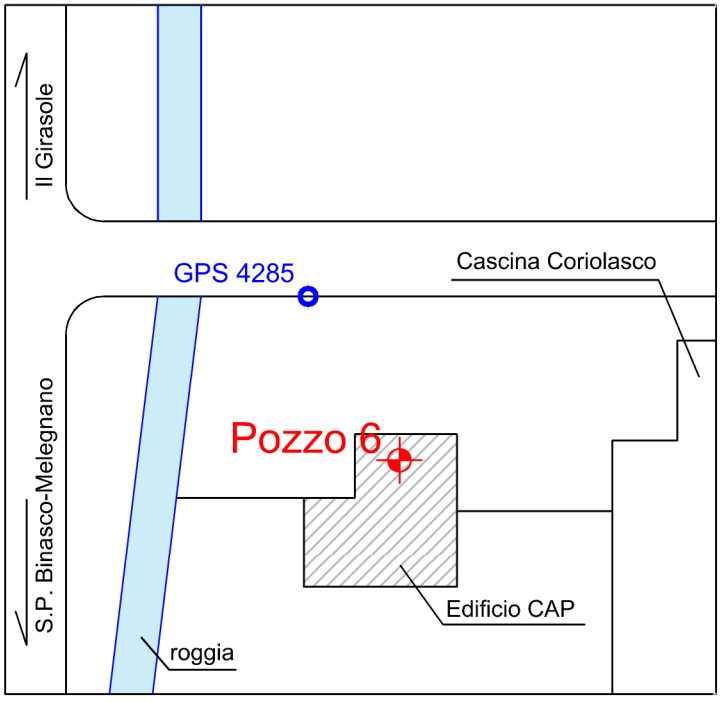
Cartografia Tecnica Regionale 1:10000

tavola di riferimento B7B1



Fotografia

Schizzo monografico



Coordinate Pozzo

Riferimento quote: FLANGIA

Geografiche (WGS84)

φ: **45° 19' 54,5069"** $H_{ell.}$: **139,65 m**

λ: **9° 07' 33,9293"**

Piane (UTM-WGS84)

N: **5019818,94 m**

E: **509880,41 m**

Piane (Gauss-Boaga)

N: **5019838,32 m** H: **97,87 m**

E: **1509907,44 m**

Targhetta s.l.m. 97,79 m.s.l.m.

Settore Acquedotto - LACCHIARELLA (MI)

1 – Anagrafica			
Servizio	Acquedotto		
Comune	LACCHIARELLA		
Provincia	MI		
Codice istat	015115		
Ubicazione	Cascina Coriasco		
Tipologia	Area Impianto		
Vita residua impianto			
Coordinate UTM	Nord:	5019818.81	Est: 509880.41
Cod Impianto DIM	260		
Cod Dett Impianto Rim	288		
Codice ID GIS			
ID Entità Geografica	23469471		
Note	Pozzo 6.		

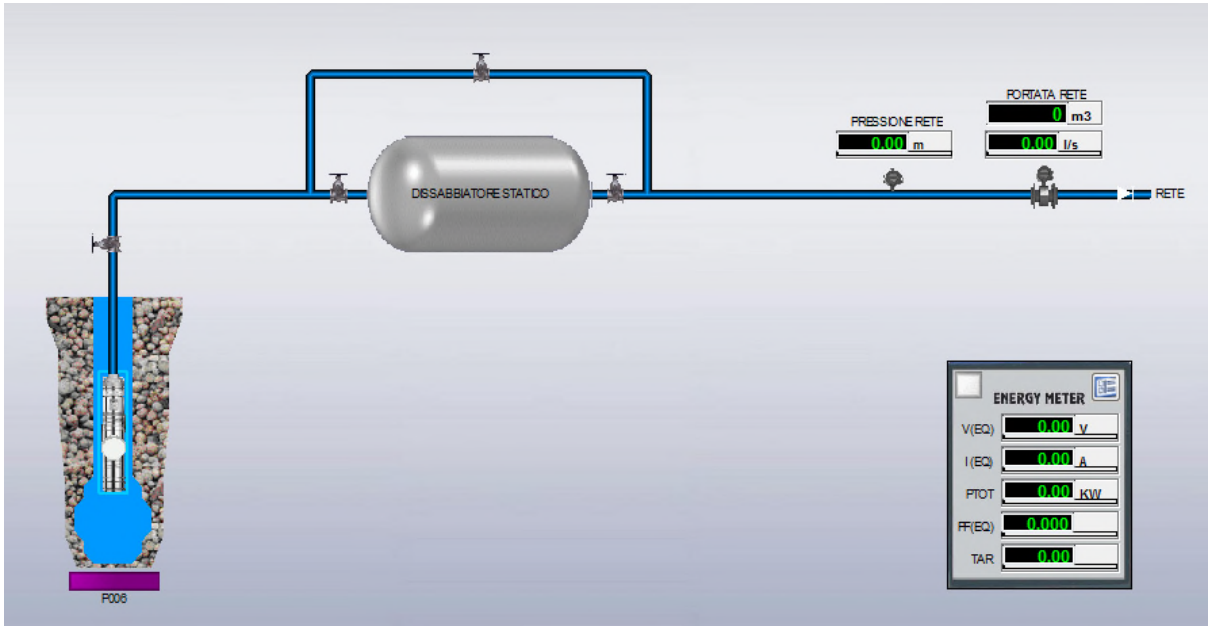
2 – Dati Catastali									
Fg	**Mapp**	**Sub**	**Proprietà Area**	**ha**	**are**	**ca**	**Cat.**	**Titolo uso area**	**Servitù passive**
7	17		Comune		37	20	Sem Irr		

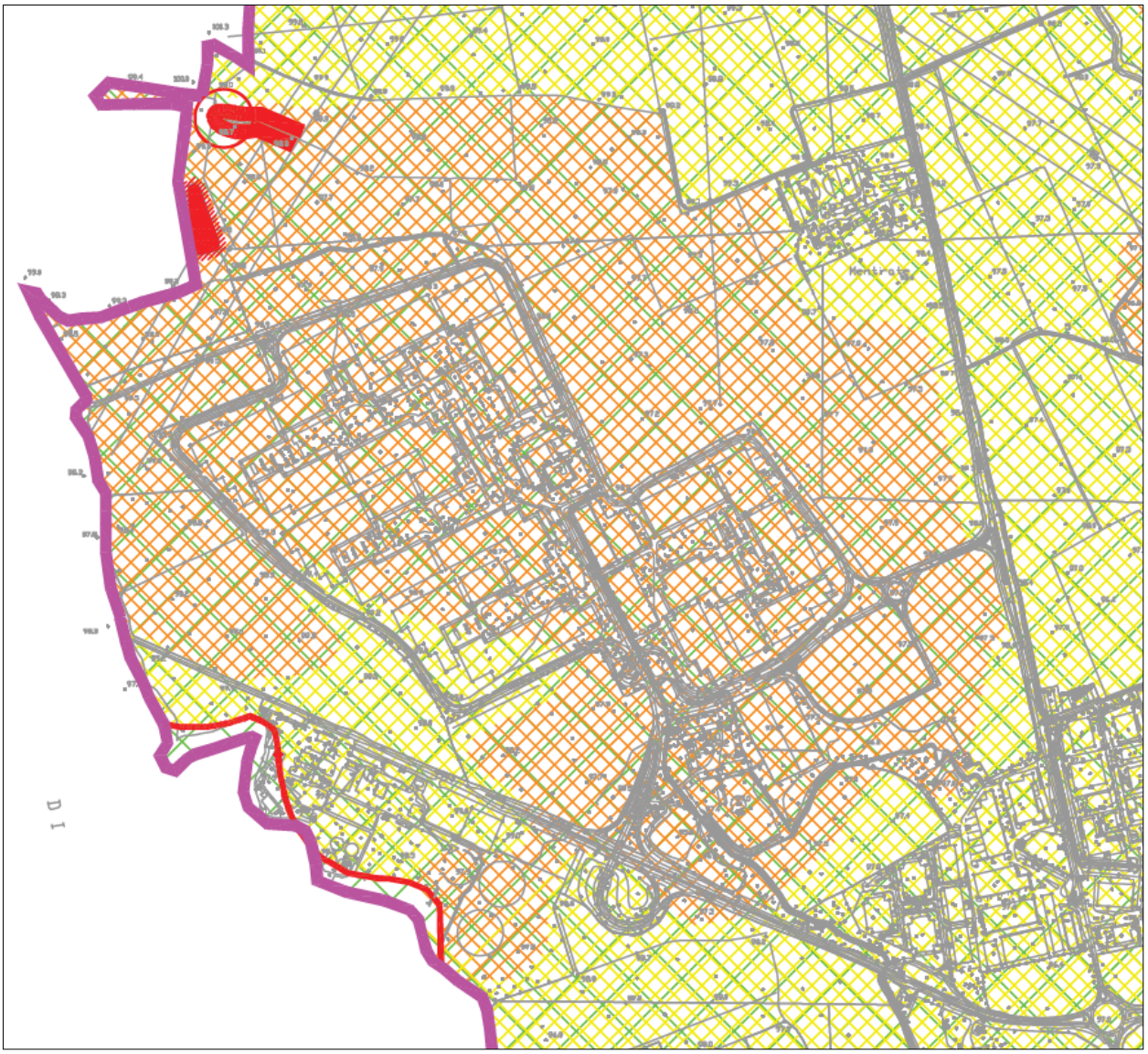
3 – Proprietà impianto	
Proprietà Impianto	

4 – Caratteristiche Captazione						
Codice SIF	Anno di costruzione	Ultimo Revamping	Profondità colonna [m]	Diametro colonna [mm]	Portata di concessione [l/s]	Scadenza concessione
0151150006	1981		94,5	600/350	35	09/08/2029
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

5 – Caratteristiche Impianto

Tipo	Codice	Dettaglio Impianto RIM	Attivo	Ossidazione	Osmosi	GAC	Miscelazione	Disinfezione	Acquedotto	Codice Zona
AREA	**	288	SI	NO	NO	NO	NO	NO	LACCHIARELLA-SIZIANO	SA Sud





Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT: stralcio della Tav. 11 - Carta della Fattibilità Geologica. In questa carta sono indicate le prescrizioni, dal punto di vista idrogeologico e geologico-tecnico e sismico necessarie al fine di programmare nel miglior modo le attività consentite sul territorio.

Legenda

CLASSE II
Comprende le aree in cui sono state rilevate modeste condizioni limitative alla modifica di destinazione d'uso dei terreni, quali la limitata soggiacenza della falda, che in tali aree si attesta a più di 2,5 - 3,0 metri di profondità dal piano campagna locale.

CLASSE III
in questa classe ricadono le zone in cui sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa

SOTTOCLASSE III a
caratterizzata dalla presenza, entro almeno i primi 2,5 metri di profondità, di terreni che presentano scadenti caratteristiche geotecniche a componente prevalentemente limosa e argillosa che comporta una limitata capacità portante dei terreni

SOTTOCLASSE III b
la soggiacenza della falda si attesta a profondità inferiori a 2,5 metri dal piano campagna locale, determinando un elemento di limitazione in caso di progetti edificatori che comportino la realizzazione di cantine, piani interrati o garage sotterranei

SOTTOCLASSE III c
aree ove la falda si attesta in prossimità del piano campagna (- 0,50 m _ - 1,0 m), soprattutto durante i periodi di irrigazione per le pratiche agricole, nei quali il livello della falda si alza decisamente

SOTTOCLASSE III d
aree caratterizzate dalla presenza, entro almeno i primi 2,5 metri di profondità, di terreni che presentano scadenti caratteristiche geotecniche a componente prevalentemente limosa e argillosa che comporta una limitata capacità portante dei terreni e dalla presenza della falda in prossimità del piano campagna (- 0,50 m _ - 1,0 m), soprattutto durante i periodi di irrigazione per le pratiche agricole, nei quali il livello della falda si alza decisamente

CLASSE IV
In tale aree si hanno gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica di destinazione d'uso. E' esclusa qualsiasi nuova edificazione.

SOTTOCLASSE IV a
comprende le fasce di rispetto dei fontanili e si estende per un minimo di 50 metri misurati dall'orlo della testa (NTA - PTCP Milano, Ottobre 2003) e con una fascia non inferiore a 25 metri lungo l'asta (NTA - PTCP Milano, Ottobre 2003).

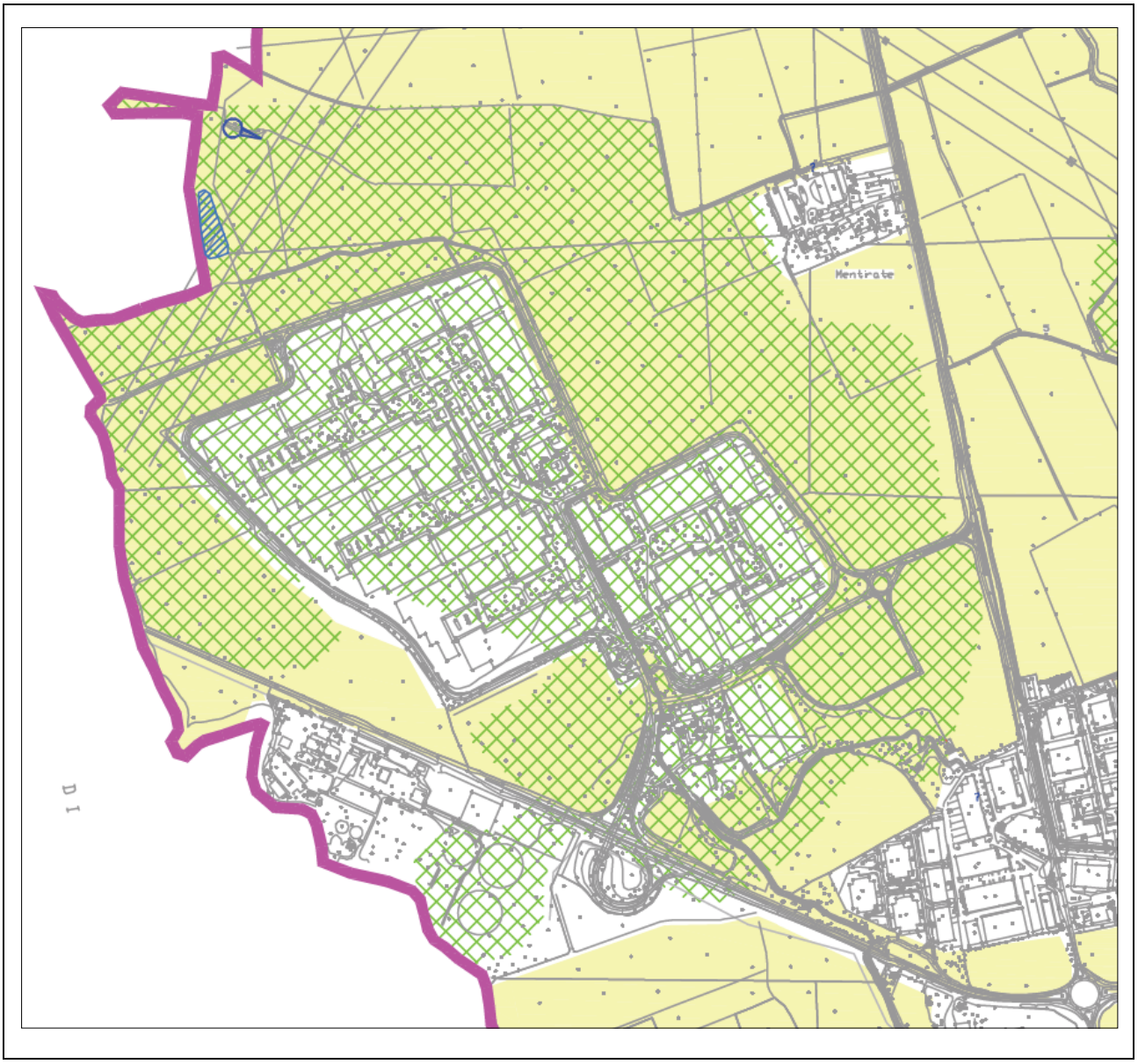
SOTTOCLASSE IV b
in questa sottoclasse ricadono gli specchi d'acqua e le zone di emergenza della falda in quanto rendono estremamente vulnerabile la falda oltre ad una fascia esterna ad essi di estensione lineare pari a 10 metri.

SOTTOCLASSE IV c
questa sottoclasse comprende le aree classificate come allagabili a seguito di abbondanti piogge, destinate al deflusso delle acque di esondazione della Roggia Ticinello e non soggette ad edificazione.

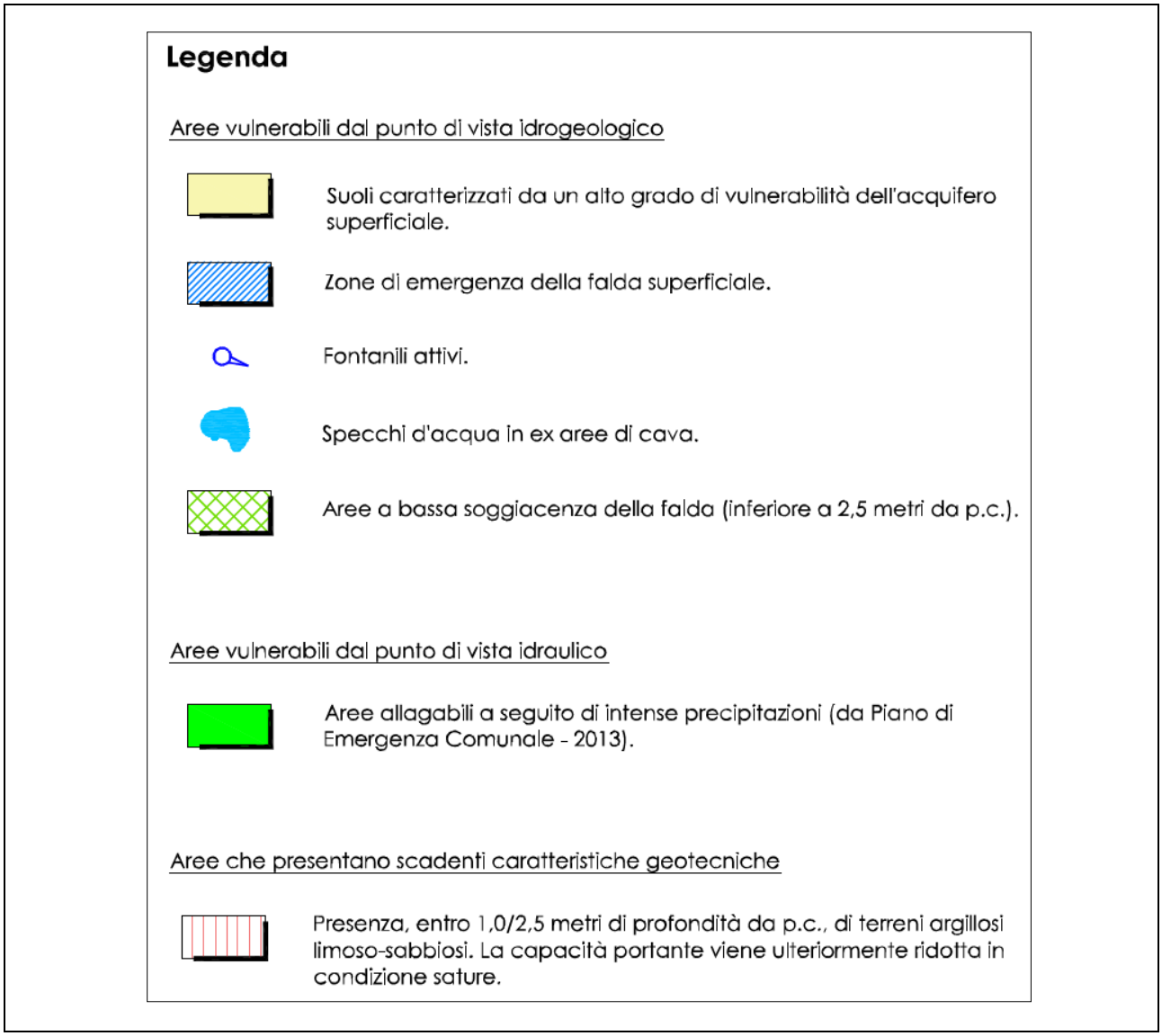
ZONE SOGGETTE AD AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE E GEOMETRICHE

Z4a - Zona con presenza di depositi alluvionali.
Fa calcolato < Fa di soglia

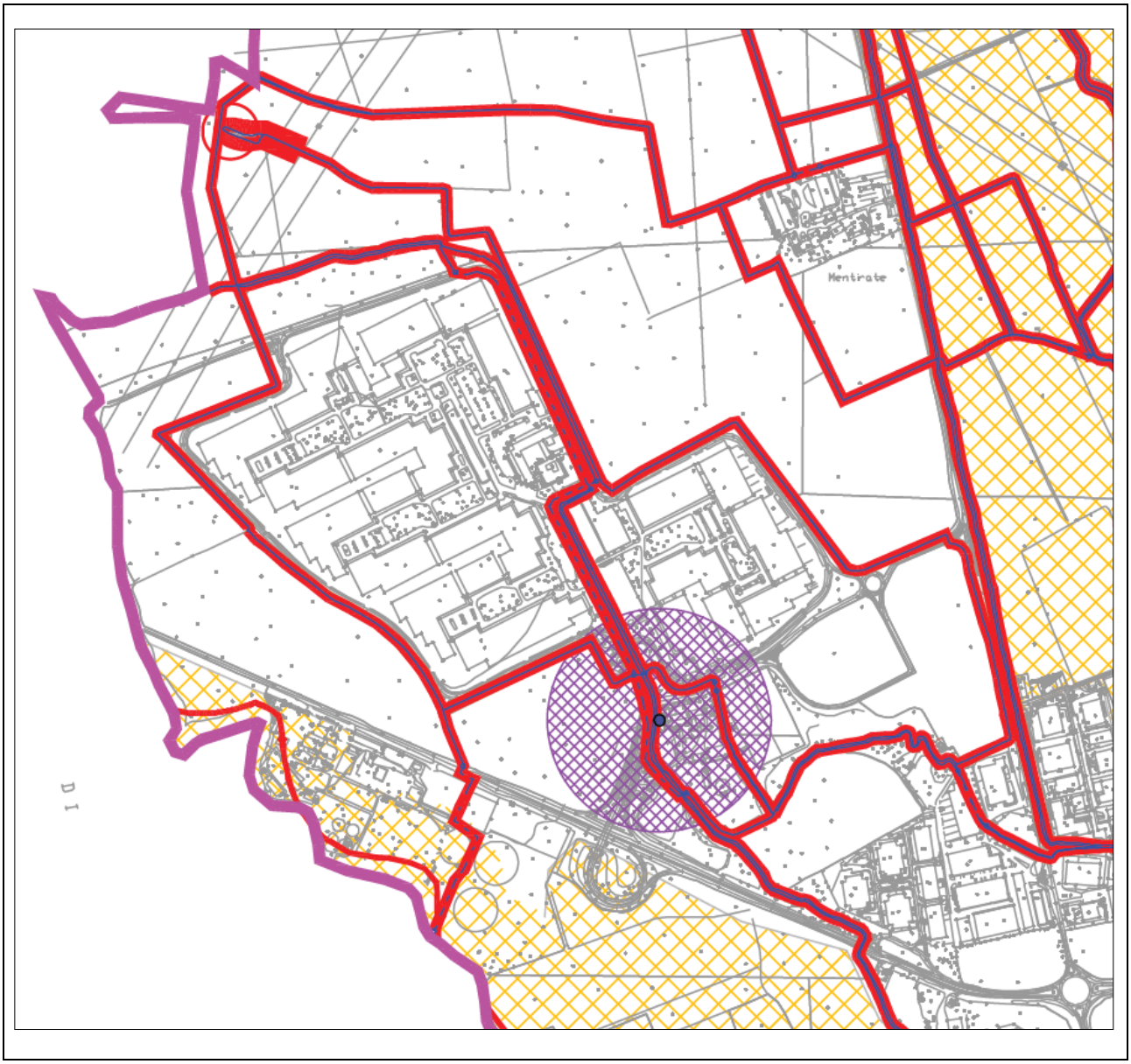
Carta della Fattibilità Geologica: legenda.



Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT: stralcio della Tav. 10 - Carta di Sintesi (settembre 2018).



Carta di Sintesi: legenda.



Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT: stralcio della Tav. 8 - Carta dei Vincoli (settembre 2018).

Legenda

Aree di salvaguardia delle risorse idriche

Zona di tutela assoluto dei pozzi idropotabili avente raggio 10 m, adibita esclusivamente alle opere di presa ed a quelle di servizio. Vincolata dall'Art. 94 del D. Lgs. 152/06e succ. modifiche.

Zona di rispetto dei pozzi idropotabili secondo il criterio geometrico (200 m di raggio del pozzo), comprendente la zona di tutela assoluta (10 m di raggio dal pozzo), definite ai sensi della D.G.R. Lomb. 15137/96 e D.G.R. 7/12693 del 2003. Tale area è vincolata dall' Art. 94 del D.Lgs 152/2006 e succ. modifiche.

Fascia di rispetto dei fontanili attivi

Fascia di rispetto delle teste dei fontanili attivi, pari a 50 metri misurati dall'orlo della testa, e fascia di rispetto delle aste dei fontanili attivi pari a 25 metri lungo entrambi i lati dei primi 200 metri dell'asta (Art. 29 delle Norme Tecniche di Attuazione del PTCP di Milano_2013).

Vincoli di polizia idraulica del reticolo idrografico

Fascia di rispetto di 10 metri (misurata dal piede degli argini e loro accessori) della Roggia Ticinello/Caronna, interdetta all'edificazione così come riportato nell'Allegato B del Regolamento di Gestione di Polizia Idraulica del Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi (Approvato con D.G.R. n. X/6037 del 19 dicembre 2016 pubblicata sul BURL Serie Ordinaria n. 52 del 30 dicembre 2016).

Fascia di rispetto di 10 metri (misurata dal piede degli argini e loro accessori), interdetta all'edificazione ai sensi del R.D. 25/07/1904, n. 523, su tutti i corsi d'acqua del territorio comunale, non essendo ancora stato approvato lo Studio sul Reticolo Idrico Minore. In tale fascia sussistono le limitazioni previste dal R.D. 368/1904 e dal R.D. 523/1904.

Vincoli paesaggistici

Parchi Regionali "Parco Agricolo Sud Milano" - art. 142 comma 1, lettera f, D.lgs 42/2004 (*).

Carta dei Vincoli: legenda.

Legenda

Scenario della pericolosità sismica locale definita in base alla Tabella 1, Allegato 5, della D.G.R. Lomb. n.IX/2616 del 30/11/2011 (Aggiornamento dei *"Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art.57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005 n.12"*).
In tali aree possono verificarsi effetti sismici locali di instabilità a seguito di eventi sismici.

Scenario di pericolosità sismica (studio di I livello)

Z4a - Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi soggetta ad amplificazioni litologiche e geometriche.

Stralcio della Carta della pericolosità sismica locale.

2.1. Modello Geologico di riferimento

Il Modello Geologico di riferimento è stato sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici.

La ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, esposta e commentata nei paragrafi seguenti, è stata formulata attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici.

La ricostruzione dello stato del territorio è stata resa possibile dalla consultazione e verifica degli strati informativi territoriali e ambientali messi a disposizione da Regione Lombardia; si sono altresì utilizzati, come temi e strati aggiuntivi, sia dati di parte che dati preesistenti, recuperati da archivio o prodotti da altri professionisti.

2.2. Geografia dell'area e circolazione idrica superficiale

Il comparto in esame insiste sulla porzione nord occidentale del territorio comunale di Lacchiarella nell'ambito della media pianura milanese e rientra nel Foglio 45 – Milano, a scala 1:100.000. Dal punto di vista cartografico, il sito in oggetto è individuabile anche sulla Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) della Regione Lombardia, in scala 1:10.000.

L'area risulta esterna al Parco Agricolo Sud Milano ed è collocata subito a nord del centro per il commercio internazionale "Il Girasole"; essa dista circa 1,5 Km dal centro abitato del Comune di Lacchiarella, circa 1 Km dal casello autostradale di Binasco dell'A7 Milano-Genova e poco meno di 16 Km dal casello autostradale dell'A1 di Melegnano.

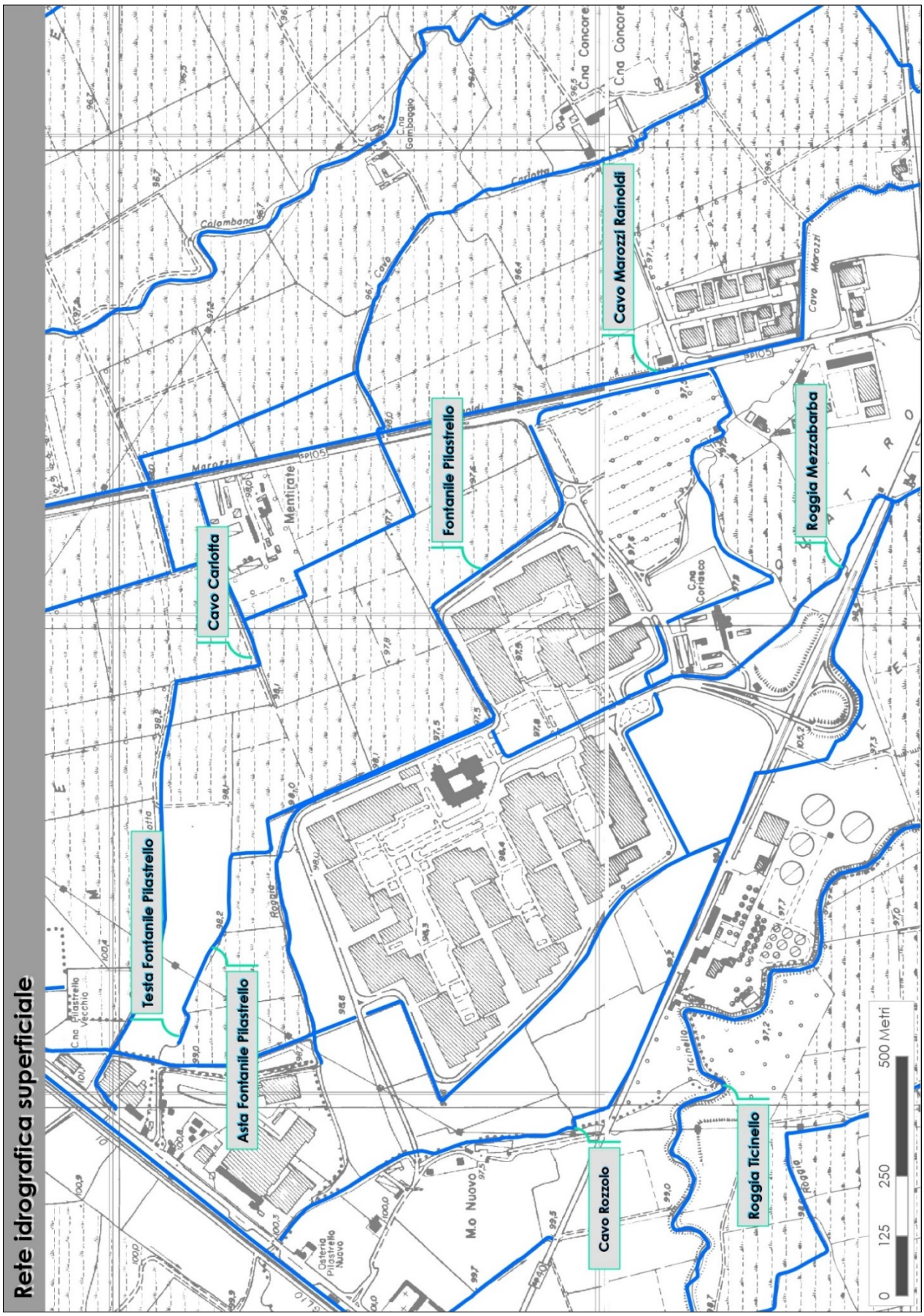
Il territorio è caratterizzato da un'orografia pressoché pianeggiante, trovandosi ad un'altitudine compresa tra i 96 m e i 98 m s.l.m. Per quanto concerne le condizioni topografiche, nella tab. 3.2.III delle NTC 2018 sono classificate le diverse configurazioni superficiali; per ciascuna categoria la tab. 3.2.V delle NTC prevede un coefficiente topografico S_T. Il comparto in esame ha una pendenza media di 0,12 gradi, derivata dal modello digitale del terreno del territorio regionale a cella 20x20m; per configurazioni superficiali semplici come quella in esame non sono attese amplificazioni e, adottando la classificazione prevista dalle NTC, risulta la categoria T1: "*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15°$*". Il valore del coefficiente topografico S_T corrispondente alla categoria topografica T1, è $S_T = 1$.

Il piano quotato è stato ricavato dal *DTM 5X5 - modello digitale del terreno (ed. 2015)* del Geoportale della Regione Lombardia, utilizzando le Ortofoto AGEA 2015 sempre distribuite da Regione Lombardia e verificando in ambiente GIS che i poligoni digitalizzati non ricadessero all'interno di terreni con pendenze elevate (>15°), tramite l'elaborazione di una carta delle pendenze derivata dal citato DTM per verificare che i poligoni digitalizzati fossero collocati correttamente rispetto agli elementi naturali ed antropici al contorno.

L'area in esame rientra nell'Unità paesistico-territoriale della media pianura irrigua, come definita dal Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale. Essa presenta un substrato costituito da sabbie e sabbie limose ed è caratterizzata da una vocazione ancora agricola che mantiene gli elementi del paesaggio ben riconoscibili, anche se intorno ai maggiori centri urbanizzati continuano a svilupparsi le espansioni edilizie. Le colture prevalenti sono i seminativi, soprattutto a mais e a foraggere.

Il sistema di rogge che va a formare la rete irrigua esistente è costituito, nell'area d'intervento e in un suo significativo intorno, dal *Fontanile Pilastrello* e dalla *Roggia Mezzabarba* o *Mezzabrasa* lungo il perimetro ovest e sud dell'ambito, dal *Cavo Carlotta* lungo il perimetro est, dalla *Roggia Ticinello* o *Roggia Caronna* a sud della SP40 Binaschina, dal *Cavo Marozzi Rainoldi* a est della SP105 Badile-Lacchiarella, con andamento nord-sud, e infine dal *Cavo Borromeo*. I canali maggiormente distribuiti entro l'area di studio hanno ampiezza di circa 1.5-2 m e alveo in terra; essi si mantengono in alvei a decorso prevalentemente rettilineo, più di rado meandriforme (Roggia Ticinello) e le portate sono generalmente di 200-300 l/s. A questi si aggiungono i canali adacquatori minori (cavi irrigui e canali di sgrondo dei campi).

Piano quotato.



Rete idrografica superficiale.

Testa del Fontanile Pilastrello. I fontanili, per le loro caratteristiche di rappresentatività e l'elevato valore ecologico e ambientale, possono essere considerati un "*bene geologico*", secondo le indicazioni riportate nella D.G.R. del 6 agosto 1998 n. 6/37918.

Asta del Fontanile Pilastrello.

Cavo Carlotta.

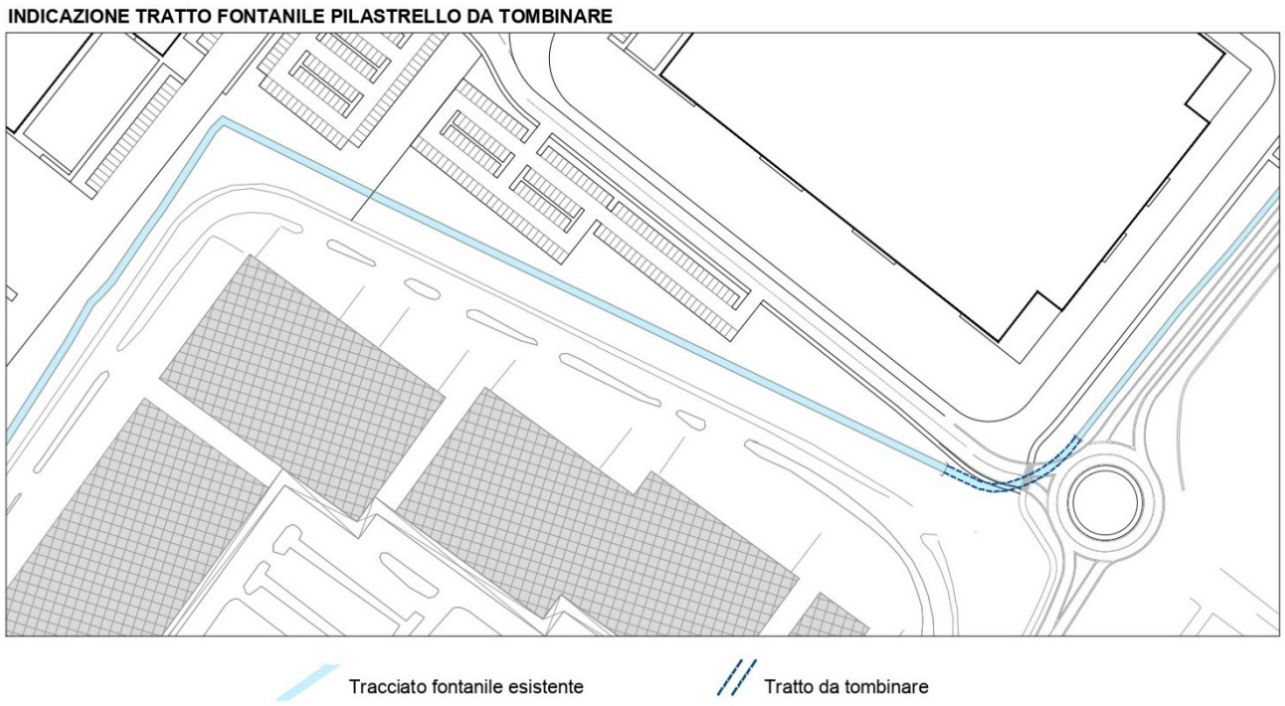
Roggia Mezzabarba.

Canale di sgrondo dei campi.

Cavo irriguo.

2.3. Interferenze con il reticolo irriguo e idrografico di scolo

Durante la fase di attuazione degli interventi un tratto del Fontanile Pilastrello, come si evince dalle tavole allegate al progetto, verrà tombinato per un tratto di circa 40 metri in corrispondenza dell'innesto della viabilità di accesso agli edifici B1 e B2 nella rotatoria. Le opere in progetto consistono, allo stato attuale, nell'inserimento di uno scatolare in c.a. prefabbricato del diametro di 120/140 cm. La portata attuale sarà garantita e, in linea generale, le operazioni sulla roggia non andranno a compromettere né la sicurezza idrogeologica né la funzionalità idraulica del comparto in esame.

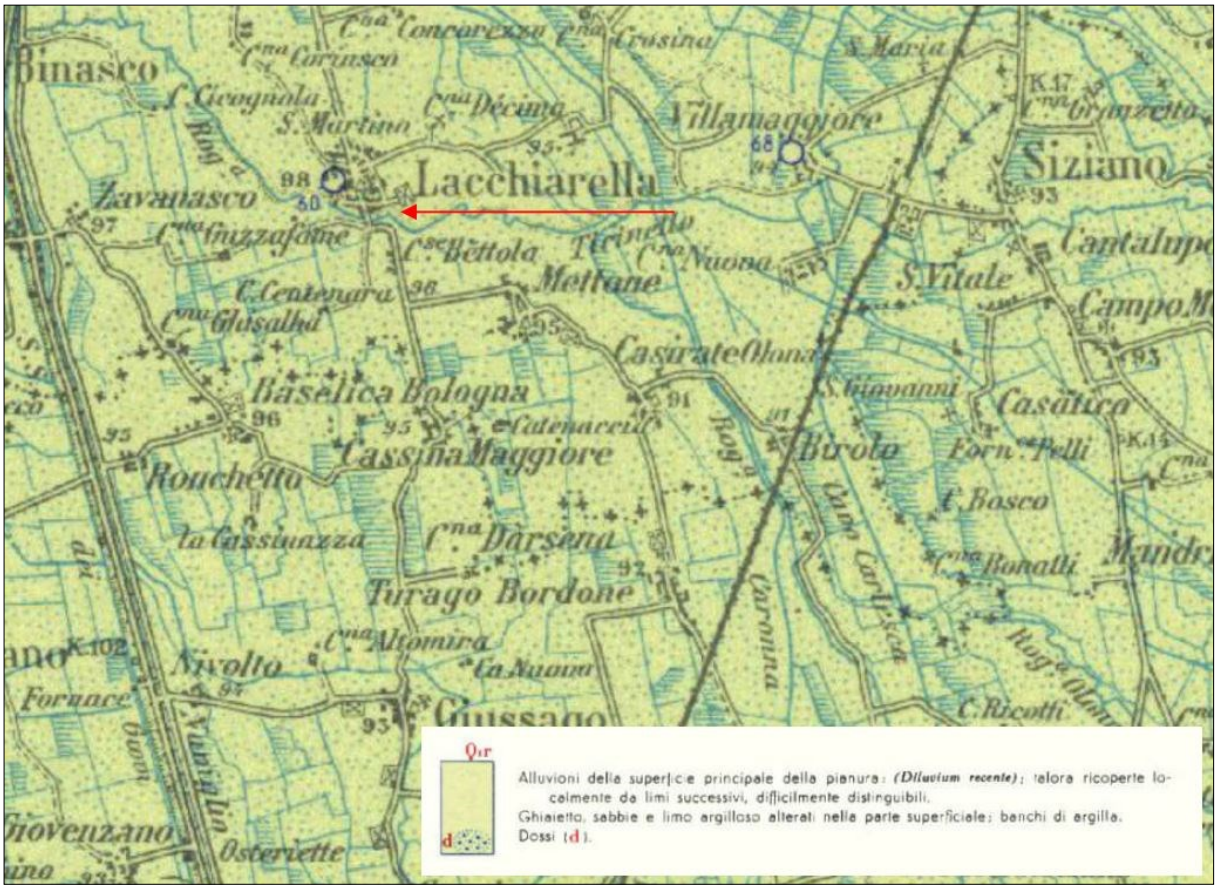


2.4. Componente geologica e geomorfologica

La litologia della zona è profondamente influenzata dagli eventi quaternari che hanno determinato la formazione della pianura alluvionale, con la deposizione di potenti coltri detritiche di granulometria eterogenea. Più generalmente, le formazioni che interessano la Pianura Padana sono raggruppabili nel Quaternario Continentale, che si divide in:

- Depositi Morenici
- Diluvium Antico
- Diluvium Medio
- Diluvium Recente

L'area in esame appartiene al Foglio n. 59 "Pavia" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, non è stata invece ancora inserita nei Fogli del Progetto Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 del CARG Lombardia.



Estratto del Foglio 59 "Pavia" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000.

L'area appartiene al *"Diluvium recente"* (Pleistocene Superiore), cioè a quei depositi che occupano la maggiore estensione della pianura lombarda e ne costituiscono il cosiddetto "*livello principale*"; loro caratteristica morfologica principale è una struttura a conoidi appiattiti prodotti dall'azione dei corsi d'acqua post-glaciali, che si dispone in un unico livello debolmente inclinato verso il Po, interrotto dalle incisioni dei corsi d'acqua attuali con i relativi depositi.

Il grado di alterazione è più basso rispetto ai diluvium più antichi e si nota una sensibile

differenziazione granulometrica tra la zona a nord e quella a sud del limite settentrionale della fascia dei fontanili, la quale si snoda, con andamento est-ovest, da Novara fin poco oltre Brescia; tale limite corrisponde al passaggio tra le sabbie-ghiaie e le sabbie limose.

Più in dettaglio l'area d'intervento è caratterizzata dalla presenza di sedimenti di natura alluvionale, che si presentano sotto forma lenticolare talora con limitata estensione areale. Il sottosuolo è costituito prevalentemente da materiale tendenzialmente fine a scheletro sabbioso e con rara ghiaia, talora intercalato da livelli decisamente limosi e/o argillosi alterati nella parte superficiale. Le sabbie al di sotto della falda freatica sono soggette a lavatura e quindi risulta assente la componente argillosa ("*sabbie vive*").

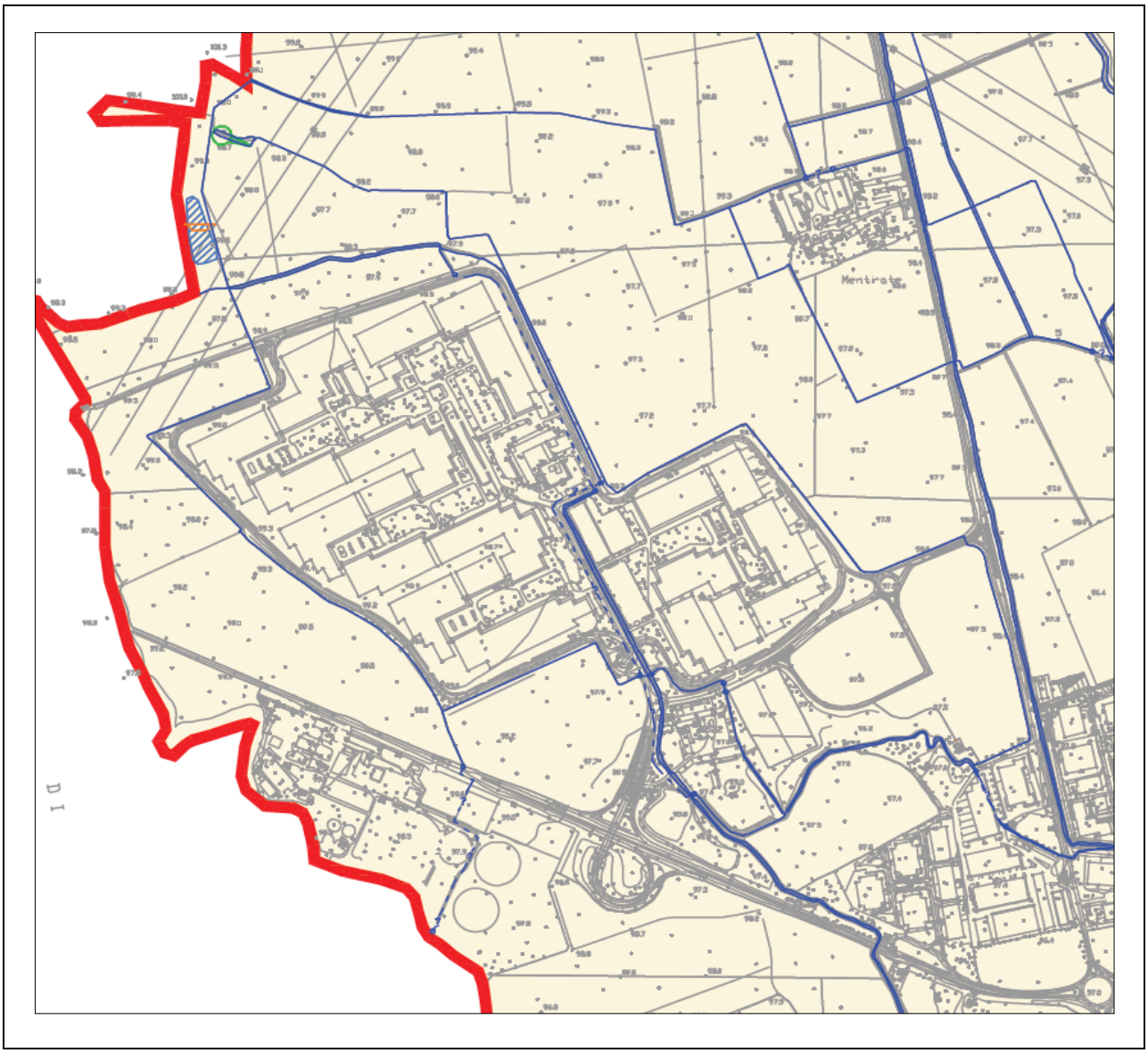
Per un'analisi della geomorfologia del territorio si è fatto ricorso alle fotografie aeree, in particolare alle foto aeree a colori, a scala 1:20.000 circa, eseguite dalla Compagnia Generale Riprese Aeree di Parma su commissione della Regione Lombardia. L'interpretazione di tali fotografie aeree permette il riconoscimento sia delle forme superficiali attualmente in evoluzione, sia delle forme ormai disattivate e testimoni di dinamiche geomorfologiche completamente differenti da quelle attualmente presenti nell'ambito padano. L'uso della foto-interpretazione rientra in ogni metodologia di studio approntata per aree di pianura; in particolare per lo studio di quest'area si è cercato quanto più possibile di adeguare la metodologia a quella proposta da Castiglioni et Al. (1986).

Il territorio in esame rientra nella cosiddetta Unità Geomorfologica "*LF - Livello Fondamentale della Pianura*" (L.F.d.P.), costituita da depositi terrazzati tardo pleistocenici e nota in Letteratura anche con il nome di "*Piano Generale Terrazzato*". Non più interessato dall'idrografia principale e caratterizzato da tracce di idrografia abbandonata, il Livello Fondamentale della Pianura costituisce una forma non più attiva, fatta eccezione per fenomeni geomorfologici di minor entità attivi solo localmente.

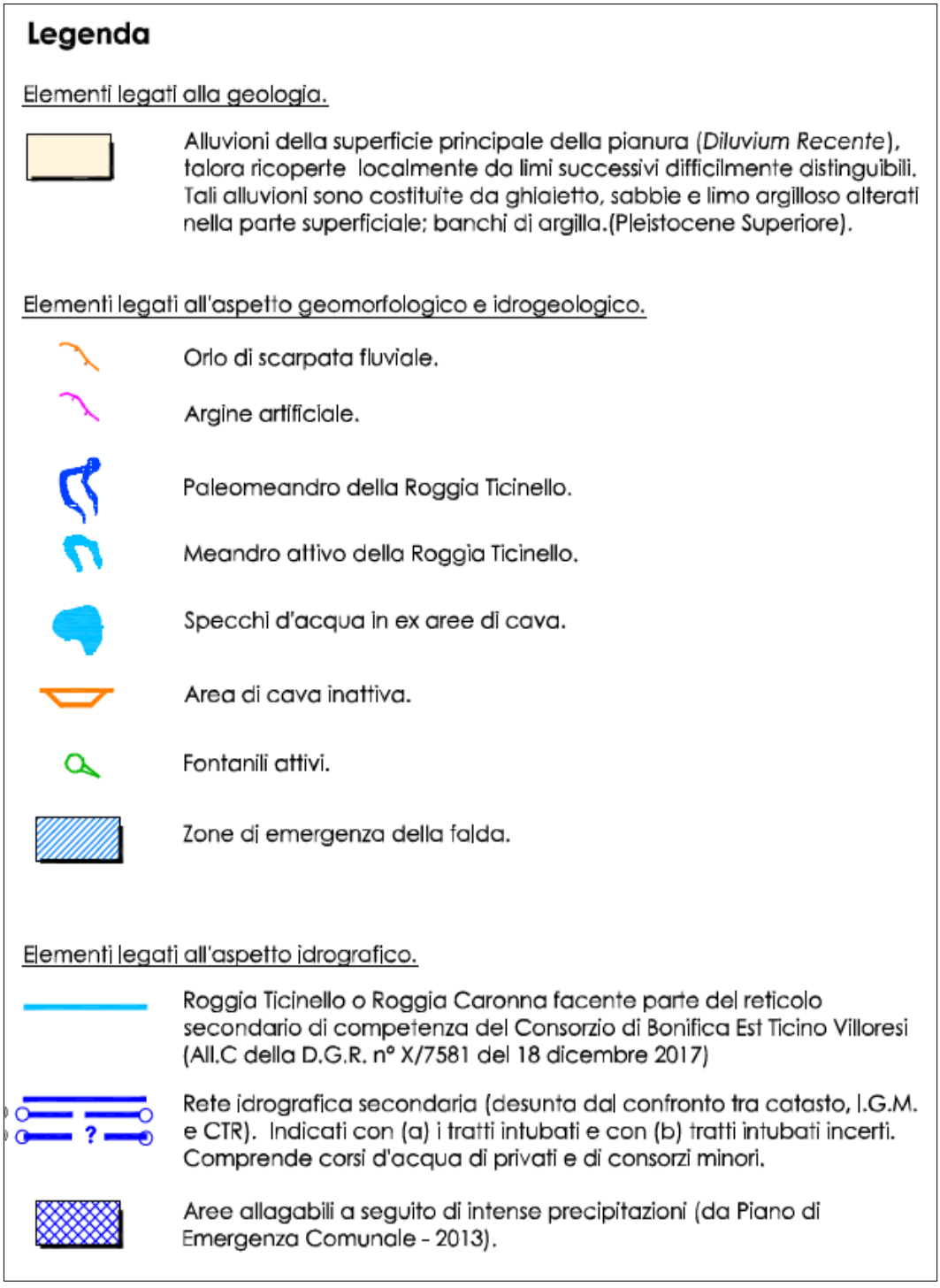
I processi che formarono questa superficie sono polifasici e il corpo sedimentario è attribuibile a più eventi: la superficie continua e arealmente estesa del Livello Fondamentale della Pianura testimonia l'arresto di ogni fase di aggradazione fluviale su di essa, verificatosi un momento prima dell'instaurarsi di condizioni fortemente erosive del Po e dei suoi affluenti di sinistra: i fiumi, infatti, scorrono entro larghe valli incassate, occupandone spesso una porzione estremamente ridotta.

Geomorfologicamente il territorio in esame risulta subpianeggiante, senza evidenza di dinamiche in atto e di elementi morfologici degni di nota. Le uniche forme morfologiche evidenti sono legate alla presenza di piccole scarpate connesse ai canali e rogge principali.

Si riporta di seguito uno stralcio della Tavola 2 - Carta Geologico-Geomorfologica, allegata all'interno della Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT (settembre 2018).



Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT: stralcio della Tav. 2 - Carta Geologico-Geomorfologica.



Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT: legenda Tav. 2 - Carta Geologico-Geomorfologica.

2.5. Componente idrogeologica

La struttura idrogeologica della Pianura Padana è il risultato della sedimentazione plio-pleistocenica: i sedimenti basali sono di origine marina e prevalentemente rappresentati da limi e argille (Pliocene-Pleistocene inf.), mentre quelli sommitali di origine alluvionale e fluvioglaciale sono caratterizzati da un'alternanza di ghiaie, sabbie, limi e argille (Pleistocene medio-sup.-Olocene).

Secondo le definizioni di M. Avanzini, G.P. Beretta, V. Francani e M. Nespoli, tale struttura idrogeologica è costituita dal sovrapporsi di 5 unità:

- Unità ghiaioso-sabbiosa (Olocene-Pleistocene sup.)
- Unità ghiaioso-sabbioso-limosa (Pleistocene med.)
- Unità a conglomerati e arenarie basali (Pleistocene inf.)
- Unità sabbioso-argillosa (Pleistocene inf.- Villafranchiano sup. e Medio Auct.)
- Unità argillosa (Pleistocene inf.-Calabriano Auct.)

Le prime tre unità sono contraddistinte dalla progressiva prevalenza di terreni limosi-argillosi, riscontrabili sia con l'aumento della profondità sia procedendo da nord verso sud: nel primo caso quale conseguenza della modificazione dell'ambiente di deposizione (regressione marina con instaurazione di un ambiente deltizio-lagunare e, successivamente, alternanze di fasi glaciali con ambienti alluvionali-fluvioglaciali), nel secondo caso a causa della diminuzione dell'energia di trasporto degli agenti deposizionali correlati alle conoidi fluvioglaciali pedemontane e ai corsi d'acqua ad esse associati (diminuzione della pendenza degli alvei procedendo da nord a sud).

Sempre in ambito dei depositi continentali, in media nei primi 100 m nelle aree di media-alta pianura, si sviluppano acquiferi a granulometria grossolana di ottima potenzialità, sede di falde freatiche con alimentazione diretta dalle acque meteoriche e per irrigazione (acquifero tradizionale formato dalle prime tre unità), mentre più in profondità si riscontrano ulteriori acquiferi sabbiosi con falde confinate intercalate da depositi limosi-argillosi alimentati dalle aree poste a nord e per scambi con gli acquiferi soprastanti, dove i livelli impermeabili risultano discontinui (acquiferi profondi dell'Unità sabbioso-argillosa).

Nelle aree di bassa pianura tale distinzione tende a scomparire, così come il riconoscimento dei vari depositi a diverso ambiente di sedimentazione sopra citati, ciò in ragione del citato affinamento della granulometria dei terreni e della prevalenza di livelli limoso-argillosi ai quali si alternano strati più grossolani di sabbie e sabbie ghiaiose già a partire dai primi metri di profondità.

In questo contesto, pertanto, l'acquifero tradizionale risulta come un complesso di falde semi-confinate o confinate a costituire un sistema multifalde che viene assimilato ad un monostrato acquifero. Il limite di separazione con gli acquiferi profondi, a causa della scarsità di dati derivanti dalle perforazioni di pozzi profondi, non è facilmente riconoscibile, tranne che nelle zone della media e alta pianura dove i pozzi hanno raggiunto maggiori profondità. Nell'area milanese il limite è stato identificato alla profondità di 100-110 m e quindi in considerazione di questo dato è presumibile dedurre che gli acquiferi profondi, nell'area d'interesse, possano essere a profondità maggiori di 110-120 m.

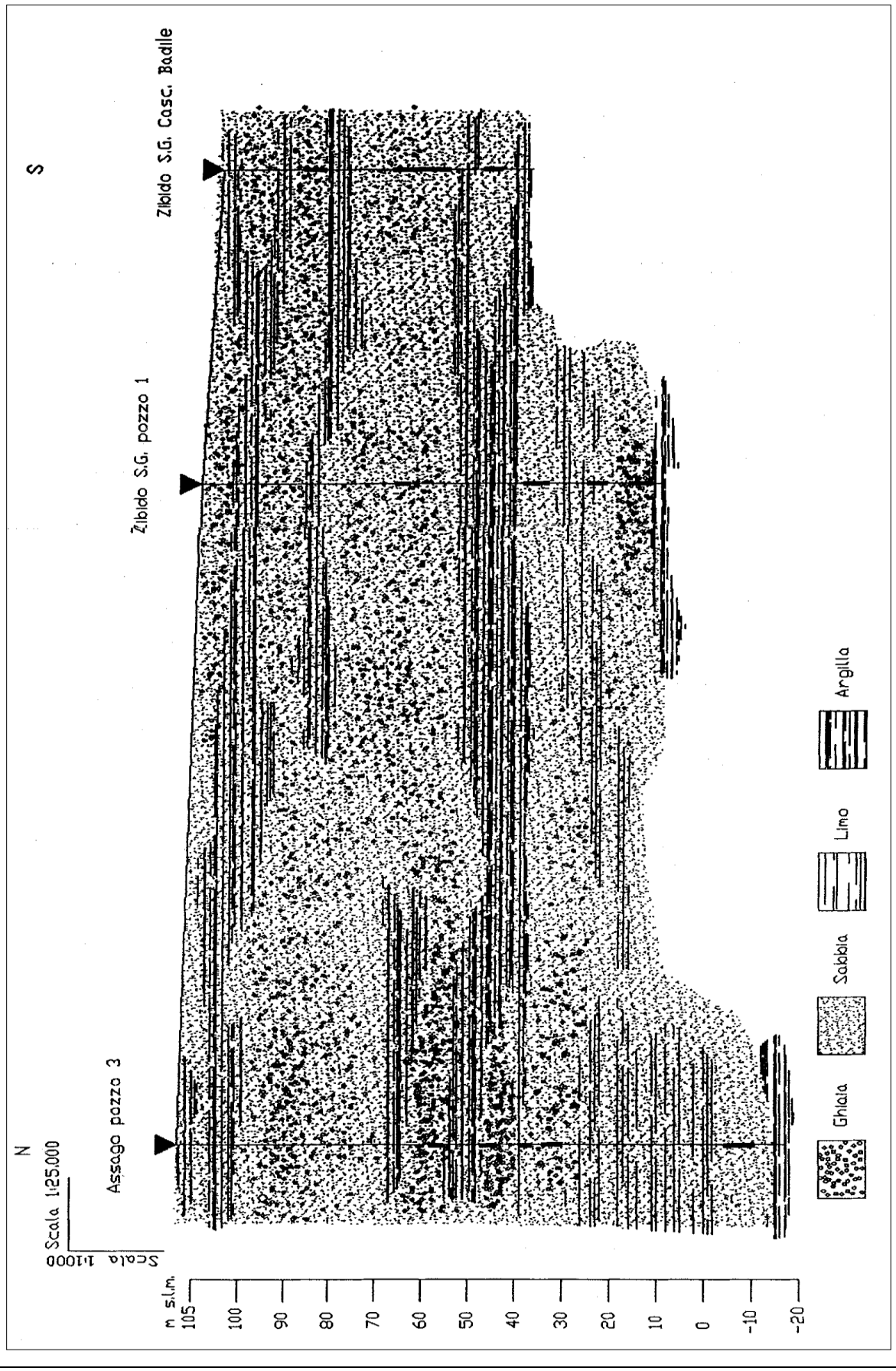
Più in dettaglio l'area d'intervento risulta caratterizzata da una struttura idrogeologica costituita da un acquifero superiore costituito da limi e sabbie fini, con subordinate lenti argillose ad andamento laterale discontinuo. L'acquifero profondo è costituito da sabbie e ghiaie molto fini, a carattere artesiano.

L’andamento delle isofreatiche denota un flusso principale con direzione da nord-ovest verso sud-est. Il gradiente della falda è piuttosto omogeneo, per un valore medio di ca. 0,008. Il gradiente piezometrico non è costante, ma connesso principalmente alle caratteristiche litologiche, alle diverse velocità di movimento (materiali fini per basse velocità, materiale grossolano per alta velocità), alla presenza di cavi, rogge e canali che possono disperdere le loro acque nel sottosuolo (es. aumenta in corrispondenza della Roggia Ticinello, che ha un effetto drenante), e infine, e non di minor importanza, alla tipologia di uso del suolo.

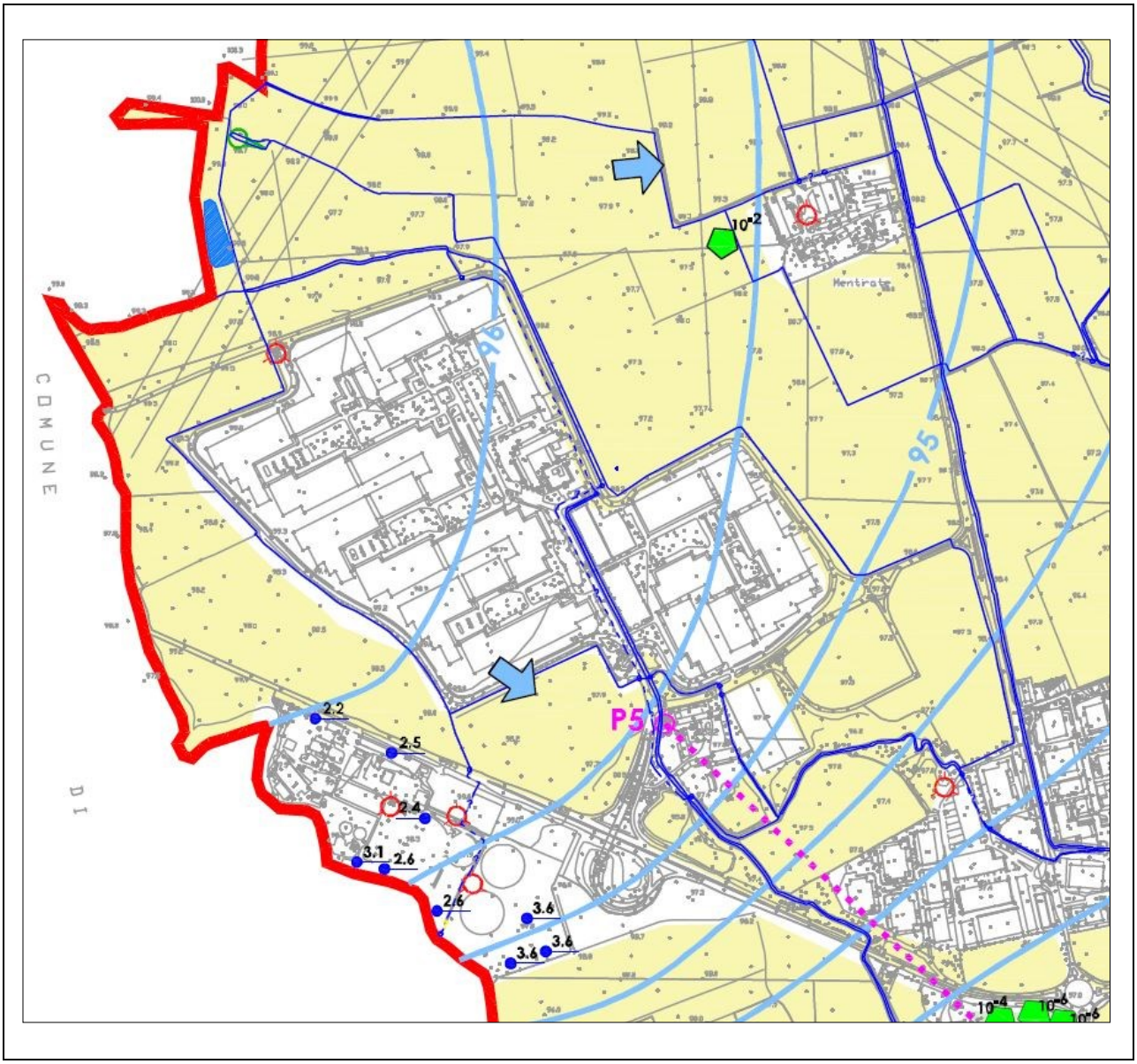
La falda risulta interessata da una sostanziale stabilità delle oscillazioni legate all’azione regolatrice svolta dai principali canali artificiali e naturali. Infatti, essendo il territorio comunale di Lacchiarella ubicato a sud della linea dei fontanili, le oscillazioni verso l’alto del livello della falda sono “controllate” dalla maggiore emissione di acqua da parte del sistema dei fontanili. Tale acqua viene poi smaltita dall’effetto “trincea drenante” svolto dai numerosi canali scolatori.

In base a tale considerazione, e in funzione dei dati idrogeologici storici acquisiti del settore della Provincia di Milano, è stata possibile definire l’oscillazione massima della falda nell’arco dell’anno di non oltre un metro, con un minimo del periodo marzo-aprile ed un massimo nel periodo giugno-agosto.

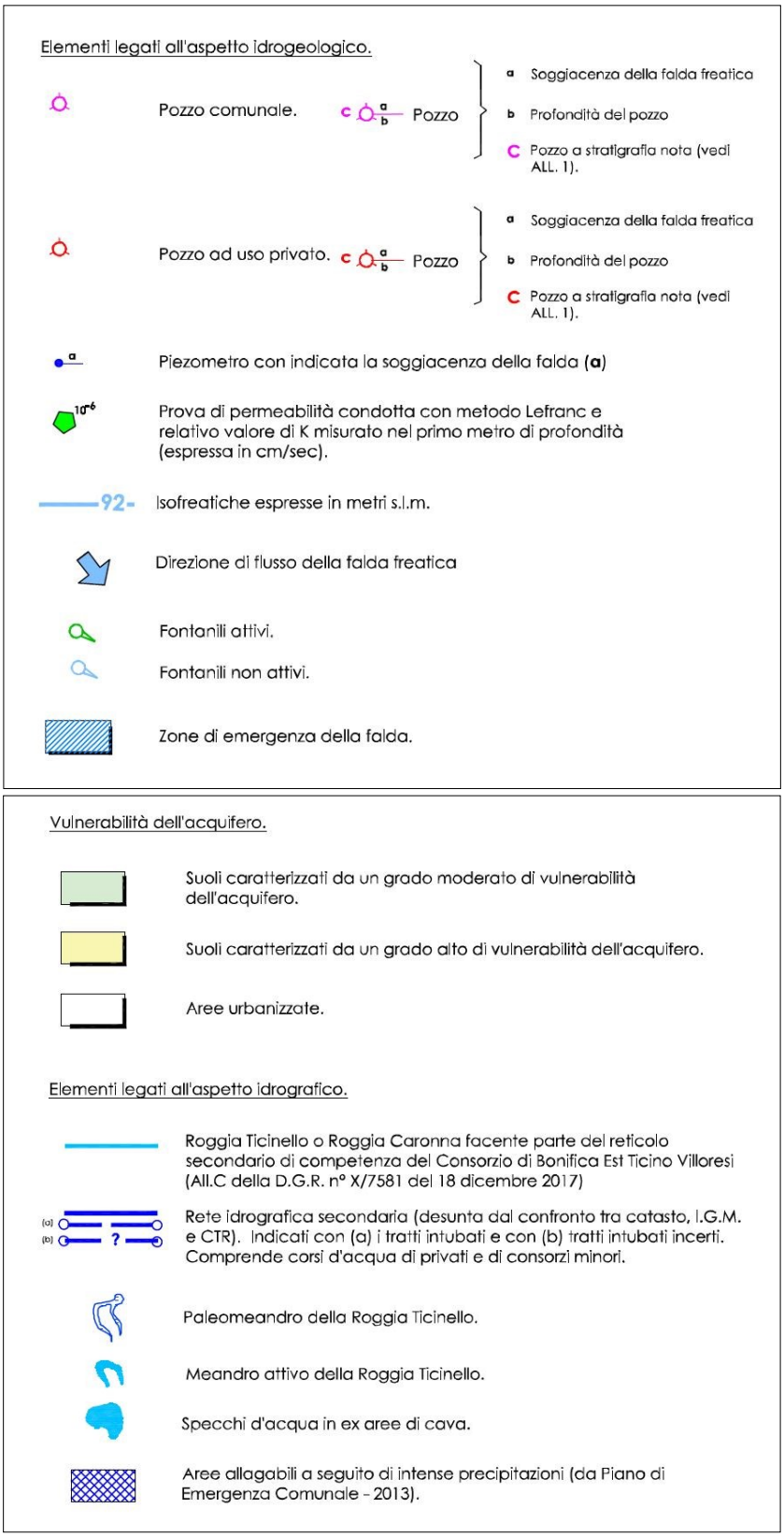
Per la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo sono state utilizzate le stratigrafie dei pozzi per acqua anche dei comuni di Zibido San Giacomo e Assago. Con tali elementi si è realizzata una sezione idrostratigrafica con andamento nord – sud, attraverso i Comuni di Assago e Zibido San Giacomo sino alla frazione Badile. Dall'osservazione della sezione, riportata alla pagina seguente, si può notare come i litotipi prevalenti siano costituiti da ghiaie e sabbie, con una buona presenza di orizzonti argillosi che sembrano mostrare una certa continuità laterale a partire dai 50 metri di profondità; nei primi metri sono prevalenti le sabbie e le ghiaie con sporadici ciottoli alternati a livelli metrici di argille.



Sezione idrostratigrafica con andamento nord – sud.



Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT: stralcio della Tav. 3 - Carta Idrogeologica (settembre 2018).



Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT: legenda Tavola 3 - Carta Idrogeologica (settembre 2018).

2.6. Gli acquiferi captati

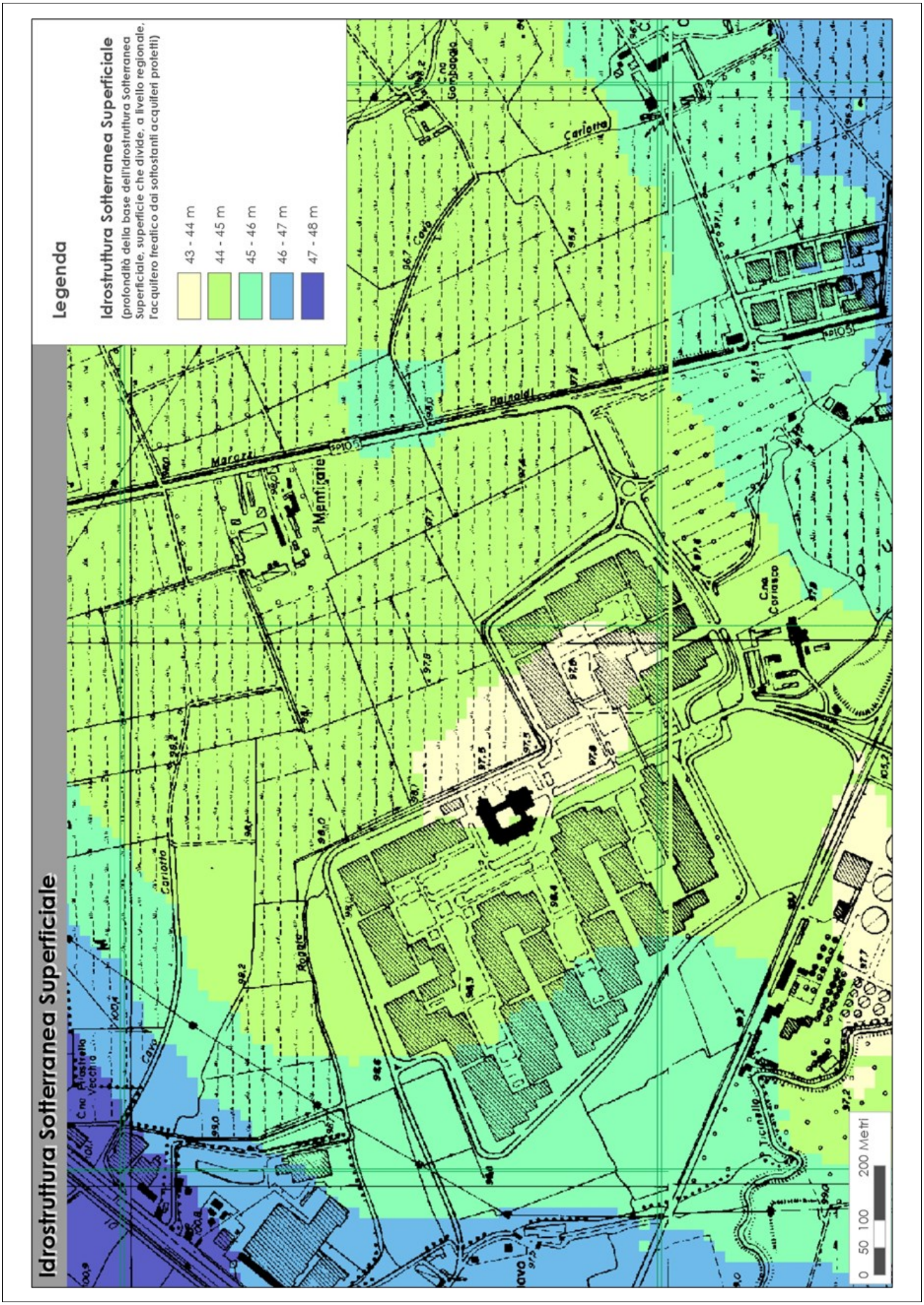
I caratteri idraulici dei terreni nel sottosuolo determinano il ruolo che i diversi corpi sepolti giocano all'interno dei meccanismi di circolazione sotterranea, di alimentazione delle falde idriche in senso verticale ed orizzontale, di possibilità di contaminazione delle stesse da parte di prodotti derivanti dai diversi tipi di attività antropica. Per valutare le caratteristiche idrauliche si fa generalmente riferimento ai parametri permeabilità, conducibilità idraulica, trasmissività e porosità. Questi parametri possono essere ricavati da misure dirette in sito, da misure dirette in laboratorio, o indirettamente da indagini di tipo geofisico, da prove effettuate nel corso di sondaggi geognostici, da informazioni di tipo litologico.

Alcune, ma diversificate, prove di altro tipo sono disponibili, ma proprio l'eccessiva differenziazione dei metodi di valutazione impedisce l'applicazione di metodi statistici di correlazione tra gli stessi. In tal modo, una prima indicazione sulle caratteristiche idrauliche del sottosuolo é stata ricavata elaborando in due modi i dati a disposizione di tipo litologico e quelli idraulici relativi alle prove di collaudo effettuate sui pozzi all'epoca della costruzione.

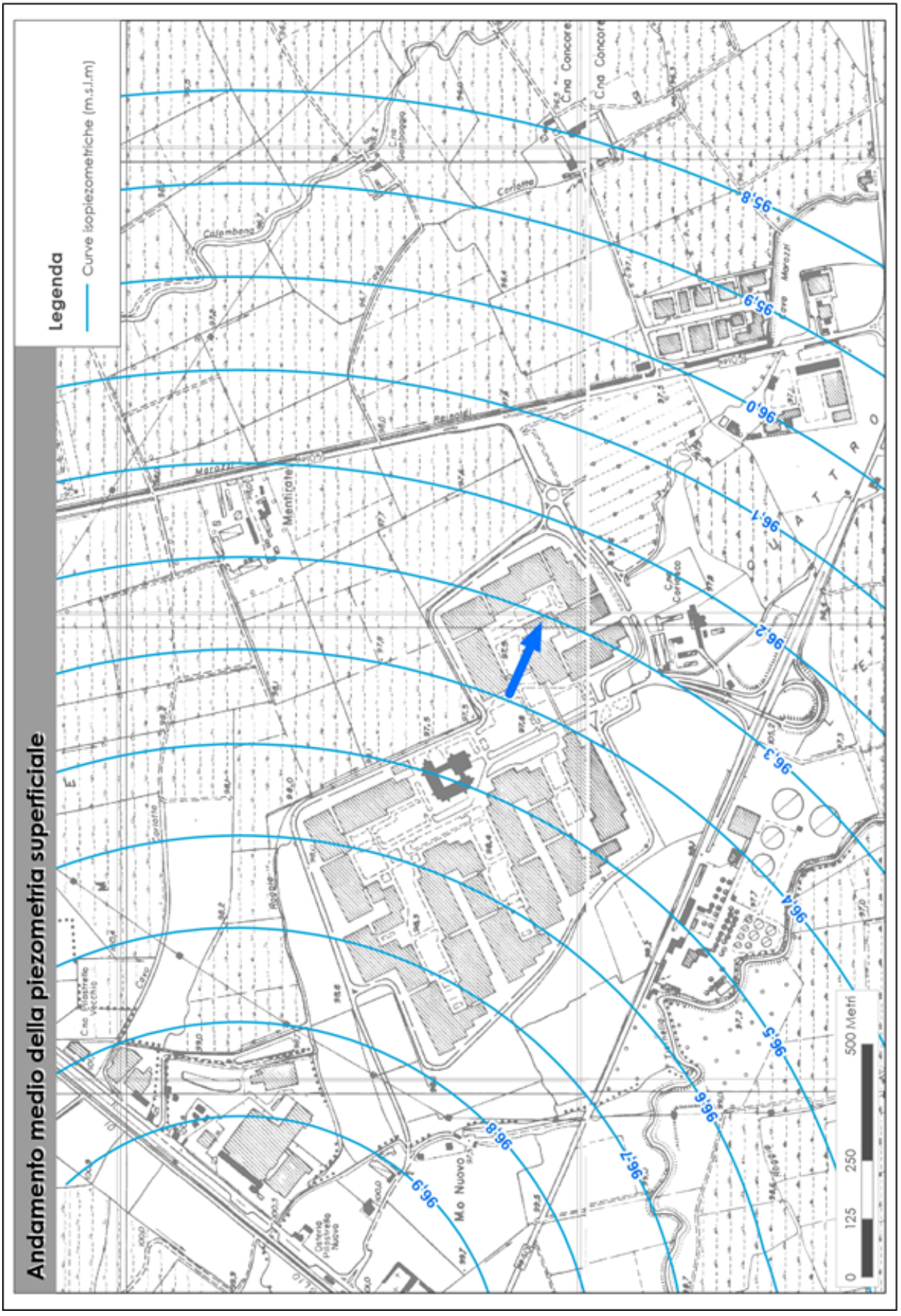
Si è ottenuta dapprima la distribuzione della percentuale di argilla contenuta nell'orizzonte del sottosuolo posto al di sopra dei filtri dei pozzi per acqua della zona (in questo caso, circa 40 metri): questa caratteristica può essere ragionevolmente utilizzata per valutare il grado di protezione delle risorse nei confronti di inquinanti provenienti dalla superficie. Si é quindi calcolata la portata specifica dei pozzi, che dimensionalmente corrisponde al rapporto tra portata emunta durante il collaudo e il corrispondente abbassamento del livello statico in tal modo causato. Da questa grandezza è possibile calcolare valori di trasmissività e quindi di permeabilità, ma in mancanza di valori misurati sperimentalmente con metodi diretti le informazioni in tal modo ricavabili hanno valore relativo, nel senso che descrivono la variabilità dei parametri, ma non in modo affidabile i loro valori assoluti.

La distribuzione della percentuale di argilla nei primi 40 metri di profondità è pressoché omogenea: il valore della percentuale di argilla ha un massimo nella zona nord orientale del comune (circa il 40%) e gradatamente diminuisce verso sud ovest dove raggiunge valori tra il 10 e 20%.

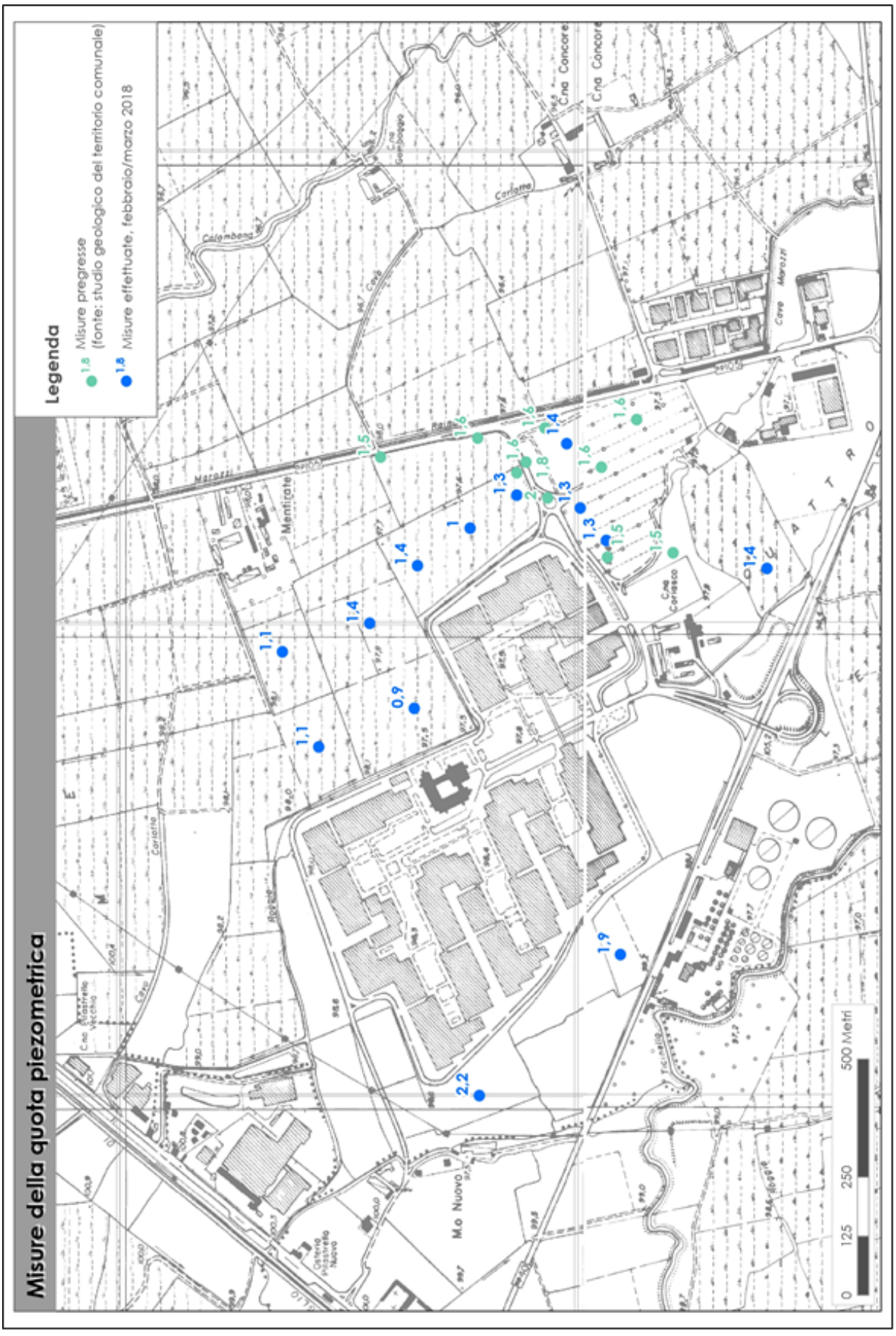
La distribuzione della portata specifica, come riportata nello "*Studio idrogeologico della pianura compresa tra Adda e Ticino*", è abbastanza omogenea: i valori calcolati per i pozzi della zona ricadono nell'intervallo 10-30 l/s*m. Tali valori, che vanno considerati medio-bassi, possono rendere comunque conto della velocità del flusso sotterraneo e in tal modo essere considerati proporzionali sia alla potenzialità dell'acquifero, sia, in senso negativo, all'attitudine dell'acquifero a trasmettere contaminazioni. Tali valori, dato che le tratte filtranti sono posizionate all'interno della prima litozona, vanno considerati relativi all'acquifero principale.



Idrostruttura sotterranea superficiale.



Andamento medio della piezometria superficiale.



Misure della quota piezometrica: soggiacenza dal p.c. attuale.

3.1. Indagini pregresse

Nell'ambito del presente studio, oltre ai dati geologici e idrogeologici utilizzati per l'inquadramento dell'area fornito nel capitolo 2 precedente, si è proceduto a un'integrazione dell'esistente mediante raccolta e analisi di indagini pregresse estendibili al sito d'interesse. In particolare, l'area in esame è stata oggetto di precedenti indagini geologico-tecniche, consistenti in n. 9 prove penetrometriche dinamiche SCPT (v. diagrammi in ***Appendice 1***).

La possibilità di ricostruzione delle litologie presenti nel sottosuolo si è affidata anche alla disponibilità delle stratigrafie della zona, di cui si riportano nel seguito le più prossime all'area di intervento, relative ai due pozzi privati della frazione Badile (B6B587380487 e B6B587900590), al pozzo per acqua di C.na Coriasco (P5) e al sondaggio geognostico denominato S4. Per la stratigrafia del pozzo per acqua di Zibido San Giacomo si rimanda al Paragrafo 1.4 precedente.

IDE: B6B587380487

QUOTA (m s.l.m.): 100 PROFONDITA'(m): 36 NUMERO STRATI: 5

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	5	5	Argilla sabbiosa	A S
2	5	17	12	Sabbia	S
3	17	20	3	Argilla sabbioso-siltosa	A S L
4	20	30	10	Ghiaietto	GG
5	30	36	6	Ghiaia	G

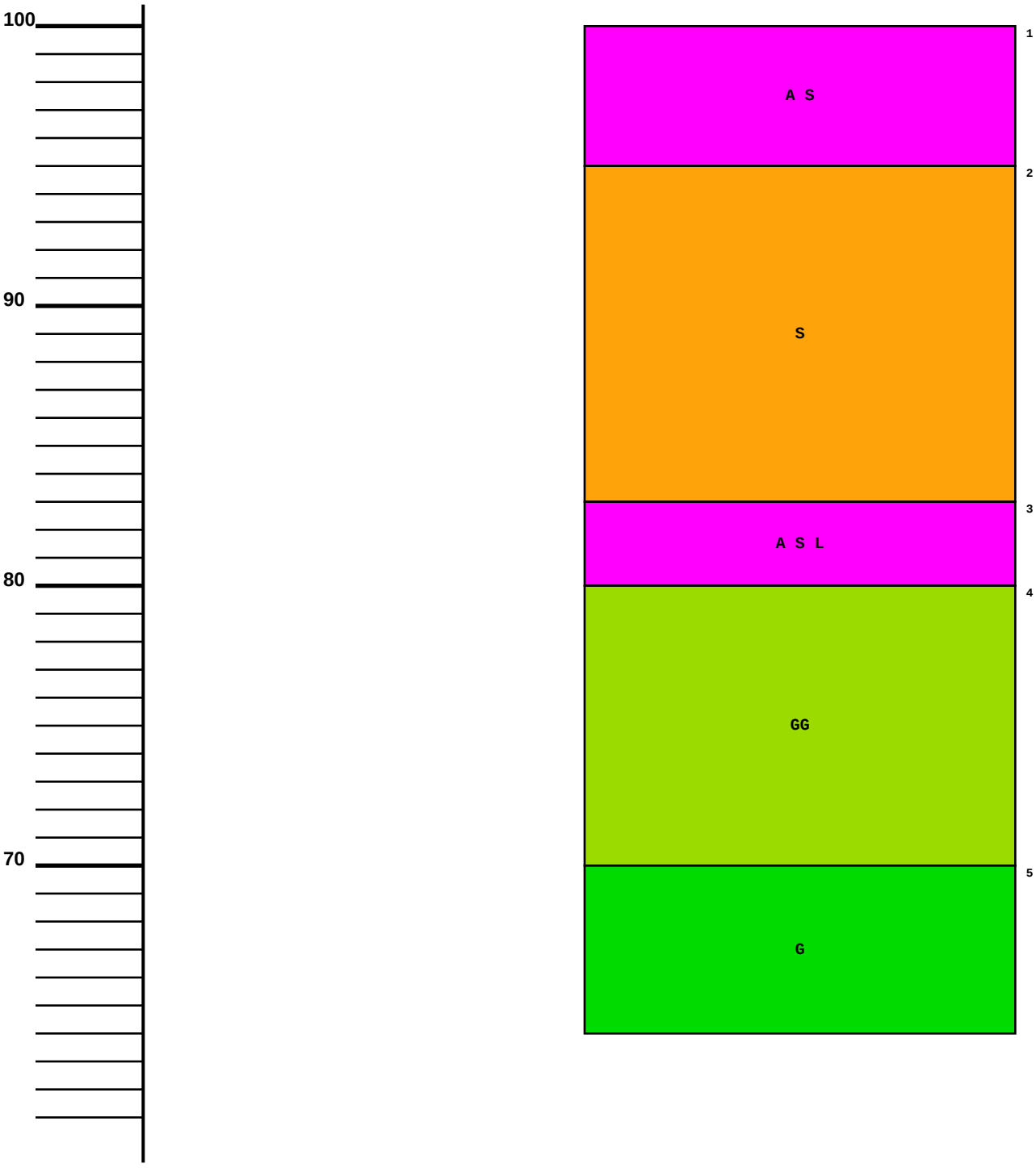
IDE: B6B587900590

QUOTA (m s.l.m.): 99,7 PROFONDITA'(m): 46 NUMERO STRATI: 6

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	3	3	Terreno di riporto	ZR
2	3	9	6	Argilla grigia	A
3	9	21	12	Sabbia media con ghiaietto	S3 GG
4	21	32	11	Argilla grigia	A
5	32	45	13	Sabbia medio fine	S3 S4
6	45	46	1	Argilla	A

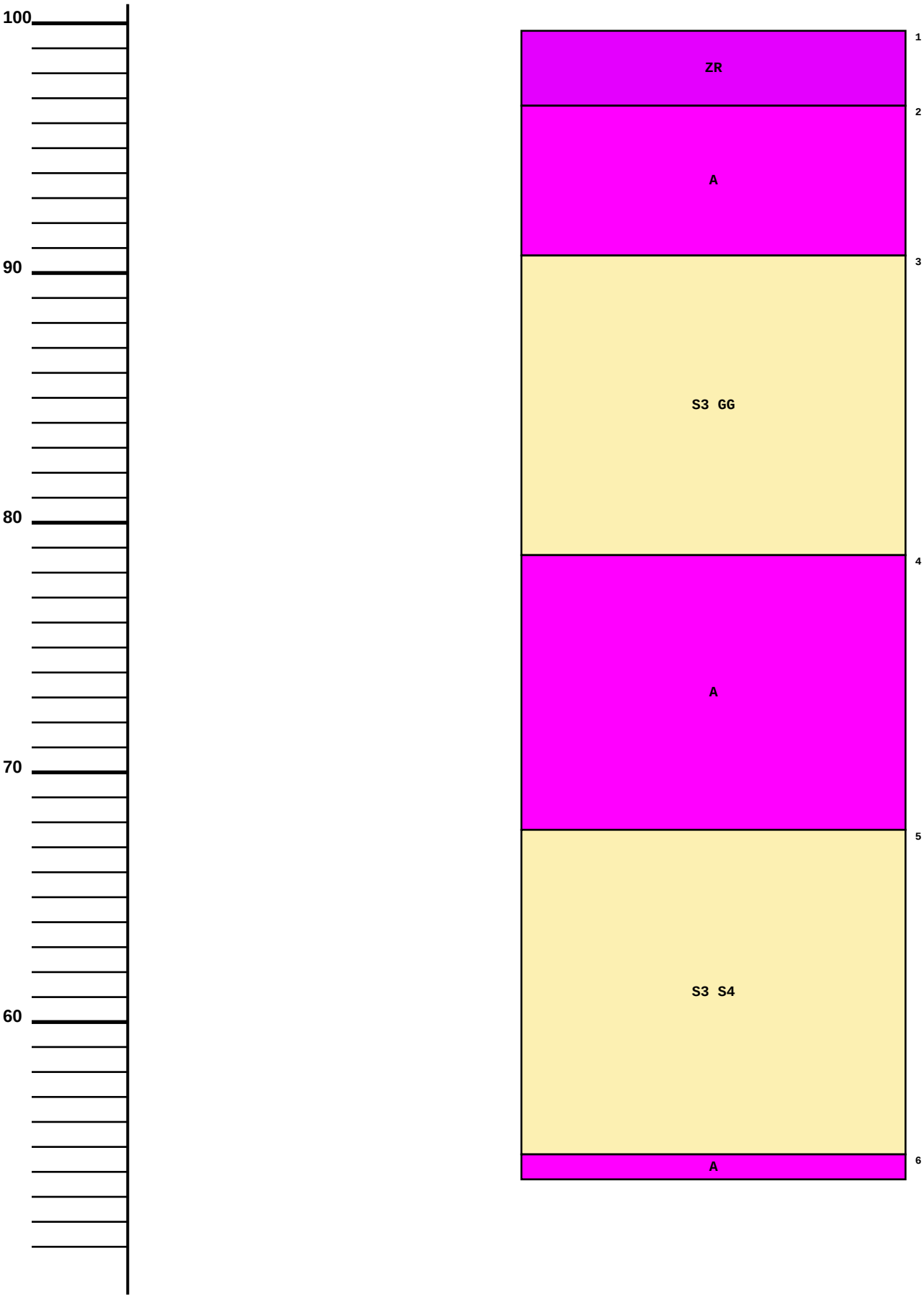
IDE: B6B587380487

QUOTA (m s.l.m.): 100 PROFONDITA'(m): 36 NUMERO STRATI: 5



IDE: B6B587900590

QUOTA (m s.l.m.): 99,7 PROFONDITA'(m): 46 NUMERO STRATI: 6

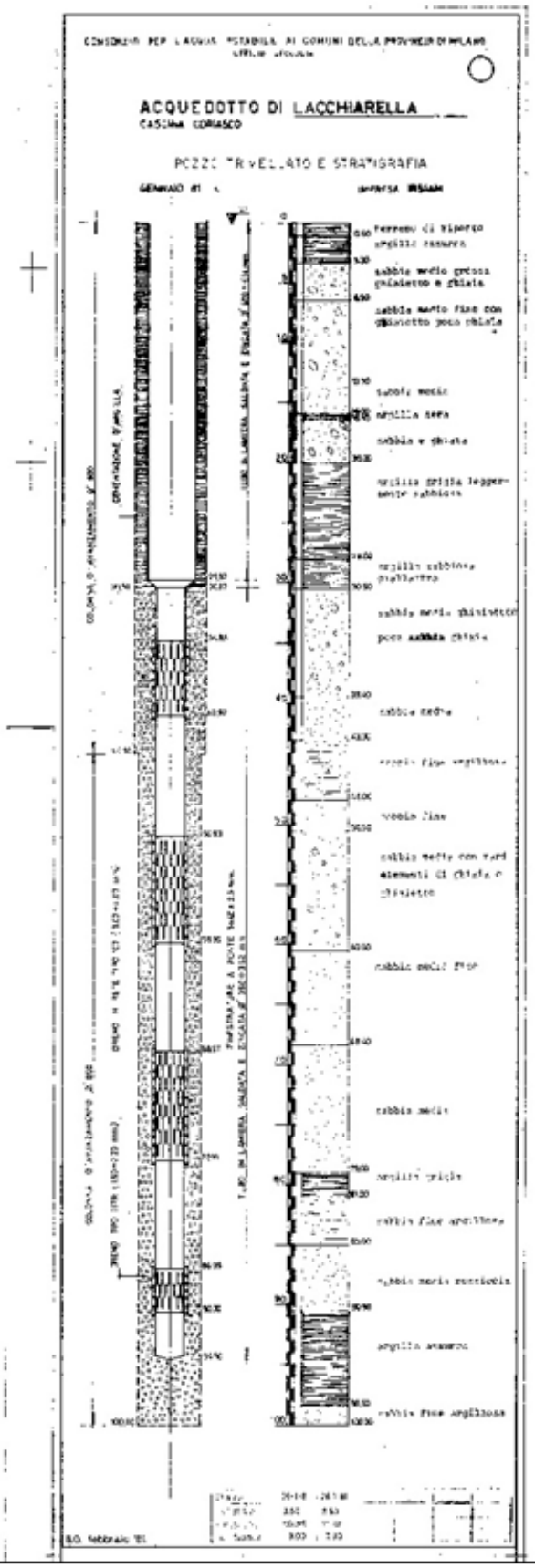


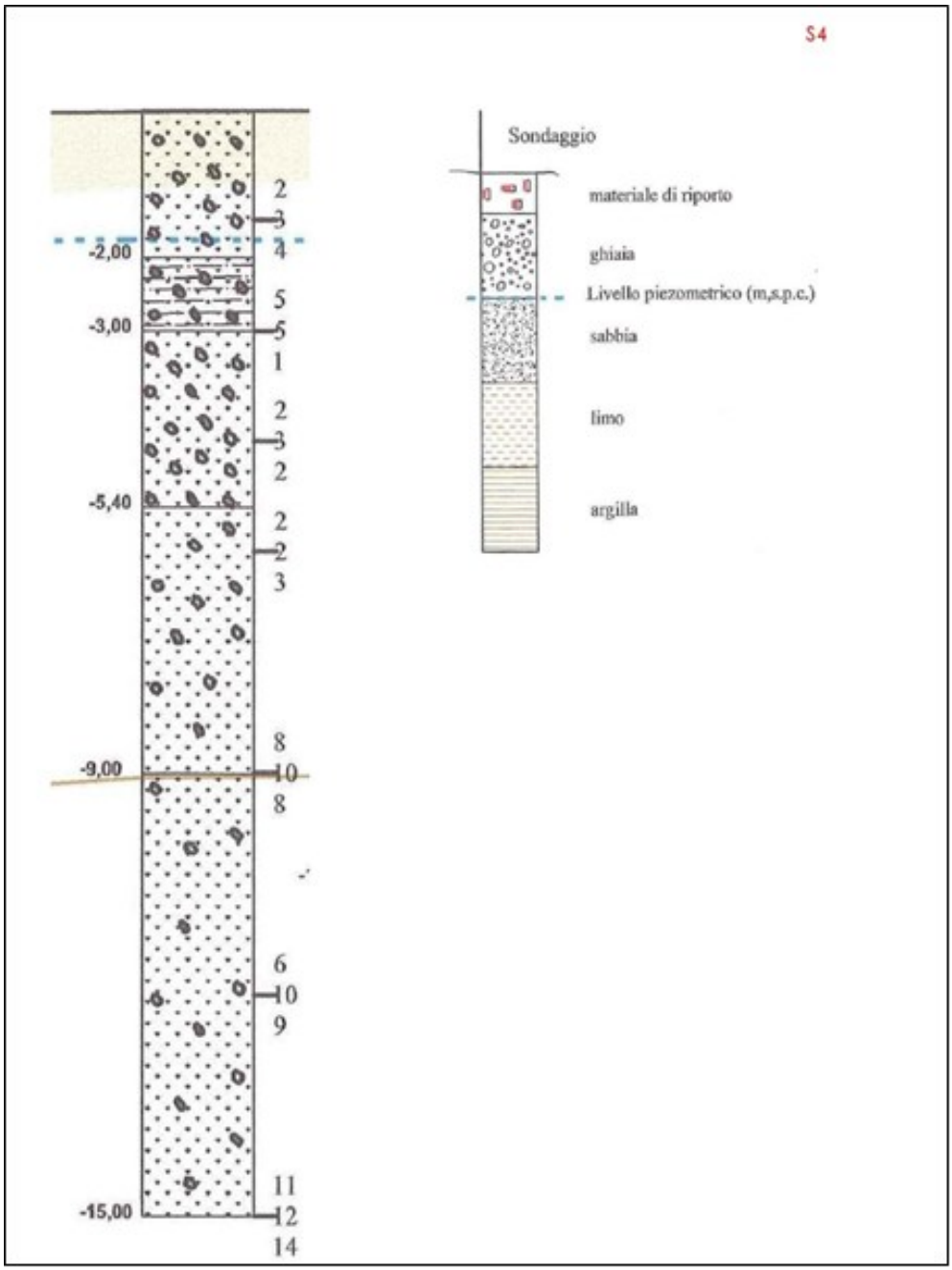
RegioneLombardia

Legenda Stratigrafia Indagine

- Ghiaia - G
- Blocchi, trovanti, erratici - GB
- Sassi, meteriale lapideo - GP
- Massi - GM
- Materiale grossolano s.l. - GZ
- Ghiaietto - GG
- Ciottoli - GC
- Ghiaia molto grossolana - G1
- Ghiaia grossolana - G2
- Ghiaia media - G3
- Ghiaia fine - G4
- Ghiaia finissima - G5
- Sabbia - S
- Materiale sabbioso s.l. (tufo, sabbione,sabbiella, ecc.) - SZ
- Sabbia molto grossolana, sabbia granosa - S1
- Sabbia grossolana - S2
- Sabbia media - S3
- Sabbia fine - S4
- Sabbia finissima - S5
- Argilla - A
- Limo - L
- Materiale fangoso - M
- Terra - MT
- Materiale fine s.l. - MZ
- Terreni di origine organica - T
- Carbone - PC
- Lignite - PL
- Materiale organico - PO
- Torba - PT
- Materiale roccioso del substrato (escluso rocce clastiche) - B
- Roccia generica - BZ
- Calcare - BC
- Gesso, anidrite - BG
- Marna - BM
- Altro - Z
- Discarica di rifiuti - ZD
- Mattoni, laterizi - ZM
- Terreno di riporto, massicciata stradale, materiale di riporto - ZR
- Suolo, terreno vegetale - ZS
- Informazione non disponibile (recupero non effettuato, informazione intraducibile) - ZZ

P5


ACQUEDOTTO DI LACCHIARELLA
CASCINA CORIASCO
POZZO TRIVELLATO E STRATIGRAFIA

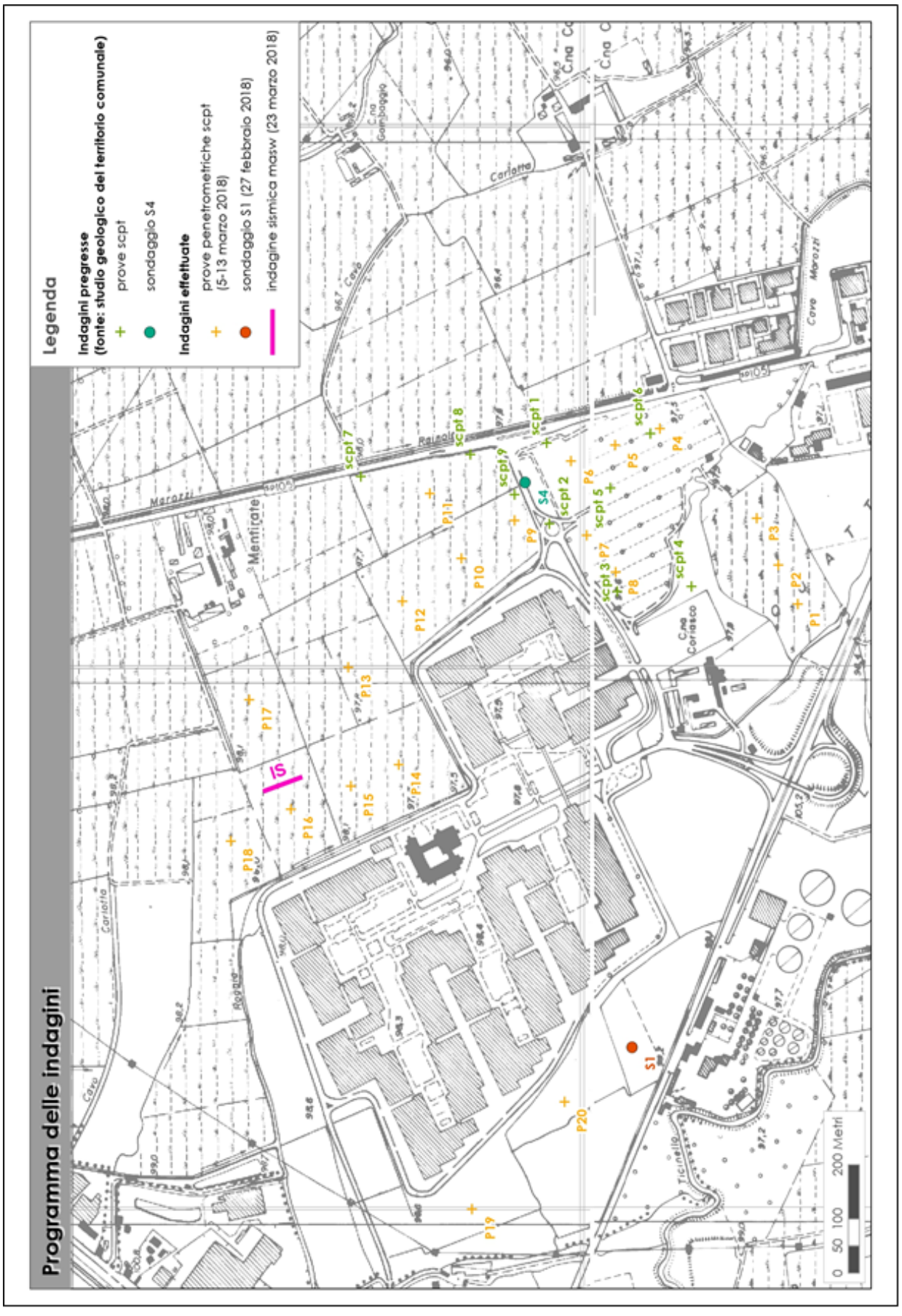

S4
-2,00
-3,00
-5,40
-9,00
-15,00
2
3
4
5
5
1
2
3
2
2
2
3
8
10
8
6
10
9
11
12
14
Sondaggio
materiale di riporto
ghiaia
Livello piezometrico (m,s.p.c.)
sabbia
limo
argilla

3.2. Indagini svolte

La campagna di indagini geognostiche ha previsto:

- l'esecuzione di n. 20 prove penetrometriche dinamiche SCPT spinte sino alla profondità massima di 20 m dal p.c.;
- l'allestimento di n. 7 tubazioni provvisorie in PVC al fine di verificare a livello locale il dato di soggiacenza della falda;
- l'esecuzione, all'interno di un tubo piezometrico provvisorio, di n. 4 prove idrauliche di infiltrazione ai fini della valutazione della classe di permeabilità dei terreni;
- l'esecuzione di n. 1 prova sismica di superficie di tipo attivo (MASW);
- l'esecuzione di n. 1 indagine sismica a rifrazione;
- la perforazione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo spinto sino alla profondità di 15 m dal p.c.;
- l'effettuazione di prove di resistenza meccanica SPT a fondo foro ogni 3 m di avanzamento;
- in considerazione della stratigrafia rilevata, il prelievo di n. 3 campioni rappresentativi degli orizzonti della matrice sottosuolo con relative analisi di laboratorio per la classificazione delle terre (granulometrie ASTM).

Di seguito si riporta la planimetria con i punti di ubicazione delle indagini e ai paragrafi seguenti l'analisi di dettaglio delle stesse.



Programma delle indagini.

3.2.1. Prove penetrometriche dinamiche SCPT

Nel mese di marzo 2018 sono state effettuate, in accordo con i progettisti e la committenza, n. 20 prove penetrometriche dinamiche continue SCPT (*Standard Cone Penetration Testing*) denominate P1 – P20. Le prove si sono spinte sino alla profondità massima di 20 m dal p.c.

L'attrezzatura utilizzata è un penetrometro semovente superpesante TG63-100 da 10 ton che rispetta gli standard AGI, della Pagani Geotechnical Equipment (PC), modello statico-dinamico, con massa battente a sganciamento automatico e avente le seguenti caratteristiche:

- diametro punta conica: 51 mm
- lunghezza delle aste: 1 m
- angolo di apertura: 60^0
- peso del maglio: 73 kg
- altezza di caduta: 0.75 m
- massa passiva: 0.7 kg
- penetrazione standard: 20 cm (N_{20}).

La prova penetrometrica dinamica consiste normalmente nell'infissione, mediante caduta di un maglio, di una batteria di aste con alla base una punta conica e nella contemporanea registrazione del numero di colpi necessario per avanzamenti successivi di 20 cm. Nel caso in esame, considerato il fatto che l'attrito laterale esercitato sulle aste non influenzava i valori di resistenza alla penetrazione, non è stata usata la tubazione di rivestimento.

L'analisi dei risultati delle prove penetrometriche svolte ha consentito di poter parametrizzare il sottosuolo in termini di proprietà indice, caratteristiche di consistenza e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali. In particolare, dai valori medi di N_{20} si sono ricavati i corrispondenti valori di N_{SPT} attraverso le medie scaturite dalle correlazioni empirico-sperimentali maggiormente riconosciute in ambito tecnico-scientifico internazionale. Successivamente da detto valore di N_{SPT}, nonché da esperienze simili in terreni del tutto analoghi ed estrapolando opportunamente i risultati, si sono ricavati i valori dei parametri di resistenza degli strati di terreno interessati dalle indagini.

I dati registrati nelle prove penetrometriche SCPT sono riportati nelle tabelle alle pagine successive, che illustrano la resistenza opposta dal terreno alla penetrazione continua della punta; i grafici delle indagini eseguite sono riportati in ***Appendice 2***, la documentazione fotografica delle prove in ***Appendice 3***. I grafici illustrano con linea a tratto marcato la resistenza opposta dal terreno alla penetrazione continua della punta, ovvero il numero di colpi N necessari per un affondamento della punta di 20 cm.

	Prova n° 1	Prova n° 2	Prova n° 3	Prova n° 4	Prova n° 5	Prova n° 6	Prova n° 7	Prova n° 8	Prova n° 9	Prova n° 10
Prof. (m)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)
0,20	1	1	1	14	12	15	15	30	2	1
0,40	1	3	1	17	17	16	13	45	1	2
0,60	1	3	1	20	13	17	11	9	1	2
0,80	1	3	1	6	4	21	8	3	2	2
1,00	1	2	1	2	1	8	2	3	1	2
1,20	1	3	1	2	2	2	3	2	1	1
1,40	1	3	1	1	1	2	1	2	1	1
1,60	1	3	1	1	1	2	1	1	1	1
1,80	1	3	1	2	1	2	2	2	1	2
2,00	1	3	1	2	1	4	4	3	3	2
2,20	2	2	1	2	2	4	5	4	2	2
2,40	2	1	1	2	3	4	5	3	1	4
2,60	2	1	2	3	2	4	3	3	1	8
2,80	3	1	2	2	2	2	2	3	1	11
3,00	3	2	2	1	2	3	2	2	2	12
3,20	5	2	2	1	2	4	2	2	2	11
3,40	4	1	2	1	2	4	3	2	3	6
3,60	4	1	3	1	1	2	3	2	2	2
3,80	5	1	3	1	1	2	4	4	4	2
4,00	5	3	4	1	1	2	3	6	6	2
4,20	4	4	4	1	1	3	3	5	2	3
4,40	3	4	4	2	1	2	5	4	1	4
4,60	4	5	4	2	1	1	5	6	2	5
4,80	5	5	5	1	1	1	5	7	3	5
5,00	7	4	5	2	2	1	6	5	5	7
5,20	9	3	6	3	2	3	6	4	5	7
5,40	9	4	6	2	3	3	7	5	7	7
5,60	10	5	5	3	3	3	5	5	7	6
5,80	12	4	5	4	4	3	4	6	6	6
6,00	14	3	5	6	4	4	6	4	7	6
6,20	11	4	7	5	4	5	7	5	6	9
6,40	9	5	3	5	3	5	7	5	6	9
6,60	9	6	3	5	5	10	5	5	5	7
6,80	9	4	3	4	5	11	5	4	6	7
7,00	6	3	4	3	4	9	5	4	5	7
7,20	6	4	4	5	4	7	6	5	5	5
7,40	6	8	6	6	5	6	5	5	5	6
7,60	6	11	6	5	5	8	6	5	4	6
7,80	6	9	4	5	7	9	5	4	5	5
8,00	5	7	5	5	6	5	5	4	5	4
8,20	5	10	4	3	11	4	7	6	6	6
8,40	6	7	7	6	12	2	6	6	7	7
8,60	8	8	8	6	13	5	5	6	5	10
8,80	8	9	6	13	13	7	6	7	5	8
9,00	10	8	5	15	12	13	6	7	9	4
9,20	12	9	6	16	11	18	7	7	13	4
9,40	8	10	5	12	12	19	9	5	8	4
9,60	8	7	4	8	10	19	12	5	5	4
9,80	7	7	4	7	9	18	10	4	5	7
10,00	5	6	7	9	8	14	13	8	7	7

Prof. (m)	Prova n° 1 N (colpi)	Prova n° 2 N (colpi)	Prova n° 3 N (colpi)	Prova n° 4 N (colpi)	Prova n° 5 N (colpi)	Prova n° 6 N (colpi)	Prova n° 7 N (colpi)	Prova n° 8 N (colpi)	Prova n° 9 N (colpi)	Prova n° 10 N (colpi)
10,00	5	6	7	9	8	14	13	8	7	7
10,20		7	7	9	7	10	9	11	10	10
10,40		11	6	8	9	12	6	12	11	11
10,60		8	6	6	13	18	6	11	1	11
10,80		6	6	8	11	12	7	8	14	11
11,00		6	8	12	8	12	8	6	8	12
11,20		6	8	11	12			6	4	13
11,40		9	8	12	14			7	3	12
11,60		8	8	15	11			6	4	10
11,80		8	11	12	9			6	5	9
12,00		9	9	16	11			6	5	9
12,20		12	10	15	8			7	8	8
12,40		10	10	12	10			4	7	9
12,60		8	10	12	9			5	4	9
12,80		10	10	12	9			9	5	12
13,00		8	10	11	7			10	5	13
13,20		8	10		6			11	3	15
13,40		10	10		7			11	2	12
13,60		7	8		6			12	2	10
13,80		8	9		6			12	1	11
14,00		9	9		7			10	1	11
14,20		7	8		6			9	3	12
14,40		9	9		6			8	3	11
14,60		10	10		6			9	4	14
14,80		10	10		7			8	4	16
15,00		6	8		6			7	3	10
15,20		6			11			5		9
15,40		5			9			5		2
15,60		6			9			5		2
15,80		6			9			6		5
16,00		12			8			7		6
16,20		16			10			6		
16,40		15			11			7		
16,60		15			12			12		
16,80		13			21			14		
17,00		17			20			13		
17,20					19			14		
17,40					17			14		
17,60					16			13		
17,80					17			12		
18,00					17			14		
18,20										
18,40										
18,60										
18,80										
19,00										
19,20										
19,40										
19,60										
19,80										
20,00										

	Prova n° 11	Prova n° 12	Prova n° 13	Prova n° 14	Prova n° 15	Prova n° 16	Prova n° 17	Prova n° 18	Prova n° 19	Prova n° 20
Prof. (m)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)
0,20	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1
0,40	1	1	1	2	5	1	1	2	2	3
0,60	2	1	1	3	5	1	1	1	5	2
0,80	2	2	1	5	3	2	1	1	2	3
1,00	3	2	1	3	3	3	2	1	2	3
1,20	3	1	1	3	3	3	1	1	2	3
1,40	2	1	1	2	3	4	1	3	3	2
1,60	3	1	3	2	1	5	1	4	2	2
1,80	3	1	3	2	1	3	1	4	4	3
2,00	3	2	3	2	1	2	2	4	2	3
2,20	1	2	4	1	1	1	2	2	2	2
2,40	1	3	4	1	1	1	1	1	1	1
2,60	1	3	2	2	2	1	1	1	1	1
2,80	1	6	2	1	3	1	1	1	1	1
3,00	1	2	2	2	5	1	4	1	1	1
3,20	3	2	3	1	6	1	6	2	1	4
3,40	3	2	2	3	5	1	6	2	1	2
3,60	4	1	4	5	5	1	7	2	2	2
3,80	3	1	7	5	7	1	8	2	2	2
4,00	4	2	7	6	6	2	5	3	3	2
4,20	1	7	7	8	7	5	6	3	1	2
4,40	1	8	7	6	8	8	7	4	1	2
4,60	1	8	7	6	10	9	9	6	1	1
4,80	2	7	7	6	7	8	10	7	2	1
5,00	5	8	7	5	8	9	6	7	2	1
5,20	11	10	8	7	9	10	5	6	2	1
5,40	10	11	6	6	10	10	5	5	2	1
5,60	10	11	6	7	9	10	7	7	3	1
5,80	11	11	6	7	9	11	10	6	3	1
6,00	9	10	5	7	10	9	8	7	3	1
6,20	9	7	5	6	11	6	10	4	4	1
6,40	9	6	5	7	5	7	10	4	9	1
6,60	8	8	1	6	5	6	12	5	9	1
6,80	5	10	1	5	5	3	7	10	9	1
7,00	6	7	7	6	6	5	8	11	9	1
7,20	7	7	8	6	6	9	10	12	6	5
7,40	8	5	6	5	5	8	12	7	6	5
7,60	11	8	8	3	7	6	11	8	6	4
7,80	12	11	14	3	7	7	8	7	7	5
8,00	7	8	13	8	9	8	8	7	7	5
8,20	8	7	12	7	6	11	8	6	7	6
8,40	9	9	10	9	9	13	10	8	7	6
8,60	8	10	10	8	12	16	11	8	8	7
8,80	7	13	11	10	15	13	9	8	8	8
9,00	6	5	14	6	16	12	8	6	8	11
9,20	6	4	15	7	15	14	8	11	8	12
9,40	2	4	11	12	11	17	11	7	6	10
9,60	1	5	6	13	13	14	8	6	6	10
9,80	10	6	4	13	8	14	8	6	7	10
10,00	8	9	3	12	7	9	9	9	10	12

	Prova n° 11	Prova n° 12	Prova n° 13	Prova n° 14	Prova n° 15	Prova n° 16	Prova n° 17	Prova n° 18	Prova n° 19	Prova n° 20
Prof. (m)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)	N (colpi)
10,00	8	9	3	12	7	9	9	9	10	12
10,20	7	13	4	10	10	7	9	11	12	12
10,40	10	11	8	9	8	7	9	6	12	12
10,60	11	10	13	7	11	7	7	7	12	12
10,80	11	11	12	9	11	9	9	8	12	12
11,00	8	10	8	9	12	9	13	10	12	12
11,20	9	14	8	11	11	9	13	11	13	13
11,40	9	13	11	11	9	8	15	10	13	14
11,60	9	11	11	11	10	7	17	11	13	14
11,80	9	10	7	7	8	7	18	8	12	13
12,00	11	12	10	9	7	8	15	8	12	15
12,20	7	13	12	13	7	8	16	12		
12,40	5	13	10	13	9	6	16	12		
12,60	5	12	11	12	11	6	16	18		
12,80	5	15	10	11	12	7	11	13		
13,00	7	17	12	9	7	7	9	12		
13,20	7	14	9	9	9	8	8	11		
13,40	7	11	9	10	11	9	9	9		
13,60	7	7	11	10	13	11	12	10		
13,80	7	8	16	10	16	11	13	9		
14,00	9	8	17	10	13	9	9	9		
14,20	10	8		7	12	9	8	10		
14,40	10	10		7	12	10	9	10		
14,60	9	11		10	13	10	9	11		
14,80	10	13		10	14	10	5	7		
15,00	10	17		7	8	12	5	8		
15,20	9	23			6	10	6	6		
15,40	9	18			8	8	7	6		
15,60	11	17			12	10	7	8		
15,80	9	18			12	10	6	9		
16,00	8	15			13	10	9	8		
16,20	10	19			22		9	7		
16,40	11	20			24		12	10		
16,60	15	21			22		12	10		
16,80	26	20			22		14	11		
17,00	26	22			17		12	13		
17,20	23	16			14		13	19		
17,40	20	14			17		12	35		
17,60	14	16			13		17	26		
17,80	12	18			17		21	20		
18,00	10	20			18		21	13		
18,20	8	33			13		22	15		
18,40	15	20			18		20	15		
18,60	20	18			26		20	27		
18,80	15	20			27		20	26		
19,00	14	20			30		25	23		
19,20	12				29			22		
19,40	12				28			20		
19,60	15				30			23		
19,80	13				28			24		
20,00	12				29			24		

3.2.2. Verifica delle condizioni piezometriche

La profondità della falda è da considerarsi di notevole importanza ai fini di:

- scelte progettuali relative a tipologia e dimensionamento delle opere di fondazione;
- valutazioni della vulnerabilità dell'acquifero, in quanto rappresenta lo spessore dello strato insaturo: minore è questo spessore, come nel caso dell'area in studio, minore risulta il tempo necessario perché un inquinante proveniente dalla superficie raggiunga la falda e, quindi, minore è il tempo disponibile perché si svolga l'azione dei processi autodepurativi del terreno.

In relazione alle caratteristiche delle falde, fatto salvo quanto già indicato nel precedente capitolo 2, si è ritenuto necessario procedere ad una verifica di maggior dettaglio delle condizioni piezometriche dell'area, ossia della presenza o meno di acqua di falda nel primo sottosuolo; si è proceduto pertanto alla messa in opera, nei fori ottenuti dalle prove penetrometriche, di tubazioni provvisorie in PVC microfessurate e del diametro di 1.5" per la verifica della presenza della falda.

La misura della quota piezometrica è avvenuta utilizzando un sondino con cavo avvolgibile metrato di precisione centimetrica a segnalazione acustica, circa mezz'ora dopo l'installazione del piezometro e al termine dell'esecuzione della prova penetrometrica, permettendo in tal modo la stabilizzazione del livello dell'acqua all'interno del tubo.

Dall'analisi di quanto sopra, è stata rinvenuta acqua a profondità comprese tra -0,9 e -2,2 metri dal p.c. attuale.

La profondità della falda, come è noto, non è costante nel tempo ma soggetta ad oscillazioni di breve, medio e lungo periodo (giornaliere, stagionali o intra-annuali, annuali o inter-annuali). A scala annuale, si evidenziano cicliche oscillazioni stagionali legate alla pratica irrigua, che presentano generalmente massimi piezometrici tardo estivi o autunnali (agosto/settembre) e minimi primaverili (aprile/maggio), con escursioni variabili in funzione dell'andamento climatico della stagione irrigua. A stagioni piovose corrispondono escursioni più limitate, determinate dal minor ricorso all'irrigazione per le necessità colturali; viceversa, irrigazioni più frequenti nelle stagioni maggiormente siccitose provocano maggiori escursioni piezometriche.

3.2.3. Prove di infiltrazione

I caratteri idraulici dei terreni rivestono particolare significato poiché determinano e condizionano i meccanismi della circolazione idrica sotterranea e di alimentazione delle falde idriche in senso verticale e orizzontale. Per valutare le caratteristiche idrauliche si fa generalmente riferimento al parametro permeabilità, che può essere ricavato da misure dirette in sito attraverso prove di infiltrazione.

Al fine di determinare il coefficiente di permeabilità K dei terreni costituenti il primo sottosuolo dell'area di interesse, si è proceduto all'esecuzione di prove di permeabilità realizzate all'interno dei fori ottenuti dalle prove penetrometriche. In relazione alla profondità della falda freatica, e tenuto conto che le prove eseguite hanno carattere puntuale, si sono scelte profondità di prova, nel singolo foro, significative ai fini della determinazione della conducibilità idraulica a supporto delle verifiche di idoneità dell'area, e che comunque garantissero l'assenza di falda.

In particolare, si sono installati n. 4 tubi piezometrici provvisori, fenestrati, spinti fino a una profondità massima compresa tra – 1,00 e – 1,30 m dal p.c.; si sono quindi eseguite n. 4 prove idrauliche di infiltrazione a carico variabile, per una stima del coefficiente di conducibilità idraulica.

Le prove in foro sono state eseguite al di sopra del livello della falda, mediante la seguente metodologia:

- infissione di tubo piezometrico di diametro 1,5" cieco nella parte sommitale e filtrante in quella inferiore, fino a profondità massima compresa tra 1,00 e 1,30 m;
- riempimento del tubo piezometrico con un volume prefissato d'acqua fino all'estremità della testa tubo (altezza nota);
- misura del tempo di discesa del livello dell'acqua all'interno del tubo (senza ulteriori immissioni) dall'inizio dell'abbassamento e fino all'esaurimento del medesimo.

L'interpretazione delle prove ha permesso di stimare la permeabilità del tratto di terreno corrispondente al primo intervallo di sottosuolo, mediante correlazioni tra conducibilità idraulica e velocità di recupero del dislivello. La formula usata per il calcolo della permeabilità nelle prove a carico variabile al di sopra della falda tiene conto del coefficiente di forma della tasca filtrante, rapportando l'area filtrante al carico idraulico. Nell'interpretazione dei dati risultanti dalle prove, il coefficiente di conducibilità idraulica è stato stimato per mezzo della seguente formula empirica:

$$K = A \cdot dH / C \cdot dt \cdot Hm$$

ove:

- A = area di base del foro = 10,17 cm^2
- $dH = H_1 – H_2$ = variazione di carico idraulico [cm]
- C = coefficiente di forma dipendente dal diametro del foro = 2,85 · D = 10,86 cm
- $dt = t_2 – t_1$ = intervallo di tempo corrispondente a dH [sec]
- Hm = carico idraulico corrispondente al tempo medio $(t_1 + t_2) / 2$ [cm]

Dalle interpretazioni dei dati rilevati durante le prove è stato rilevato quanto segue:

- prova 1 – postazione P2 tra 0.00 e 1.30 m: $K = 6,5 \cdot 10^{-3}$ cm/sec;
- prova 2 – postazione P7 tra 0.00 e 1.20 m: $K = 5,2 \cdot 10^{-3}$ cm/sec;
- prova 3 – postazione P8 tra 0.00 e 1.20 m: $K = 6,6 \cdot 10^{-3}$ cm/sec;
- prova 4 – postazione P17 tra 0.00 e 1.00 m: $K = 1,3 \cdot 10^{-2}$ cm/sec.

Coefficiente di permeabilità K (cm / sec)	
Ciottoli, ghiaie, sabbie grossolane e medie	da 10 a 10^{-3}
Sabbie fini	da 10^{-3} a 10^{-4}
Limi	da 10^{-4} a 10^{-6}
Argille	da 10^{-6} a 10^{-9}
Argille plastiche	da 10^{-9} a 10^{-10}

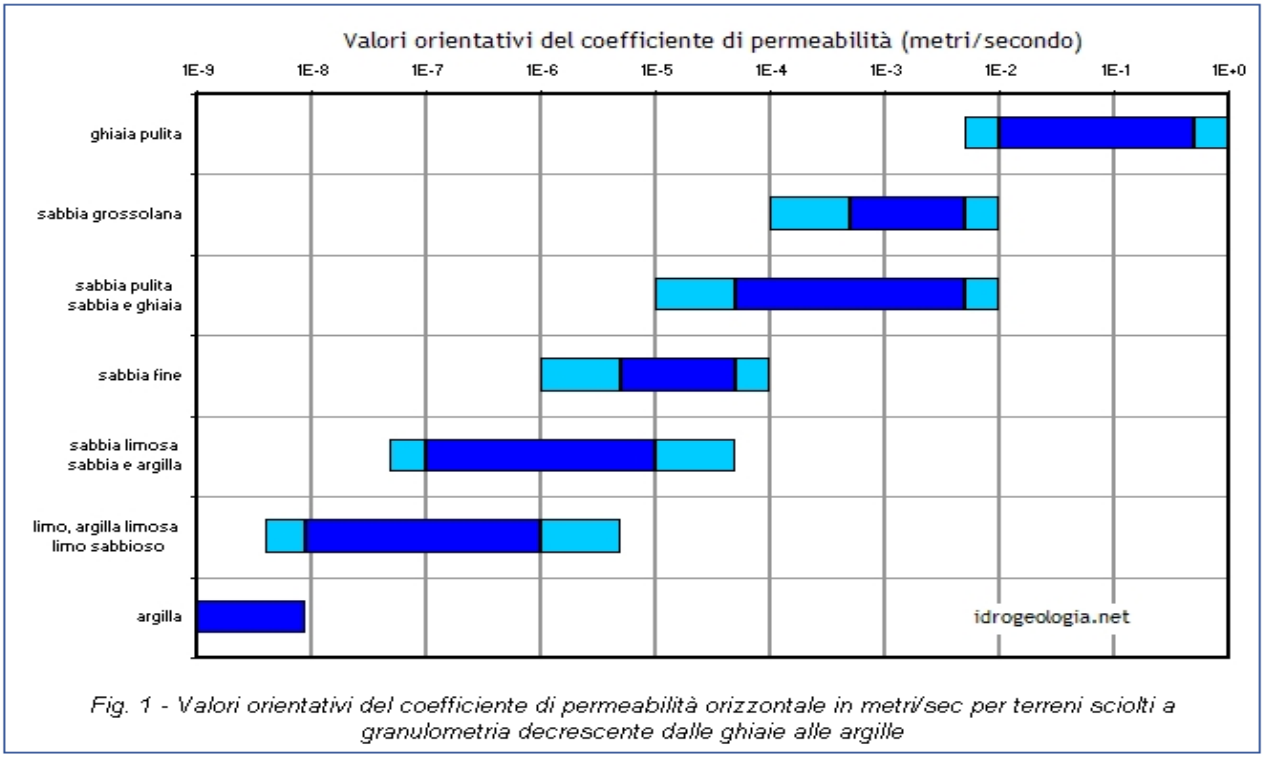


Fig. 1 - Valori orientativi del coefficiente di permeabilità orizzontale in metri/sec per terreni sciolti a granulometria decrescente dalle ghiaie alle argille

Valori indicativi di permeabilità di terreni tipici.

PROVA N. 1 – POSTAZIONE P2

Tempo (sec)	Abbassamento livello H_20 (cm)	Differenza (cm)
10”	92	-
20’’	113	21
30”	117	4
40”	120	3
50”	123	3
60”	124	1
90”	126	2
120”	128	2
150’’	130	2

PROVA N. 2 – POSTAZIONE P7

Tempo (sec)	Abbassamento livello H_20 (cm)	Differenza (cm)
10''	29	-
20"	48	19
40''	62	14
60"	78	16
80"	94	16
100"	102	8
120"	107	5
150"	113	6
180"	117	4
210"	120	3

PROVA N. 3 – POSTAZIONE P8

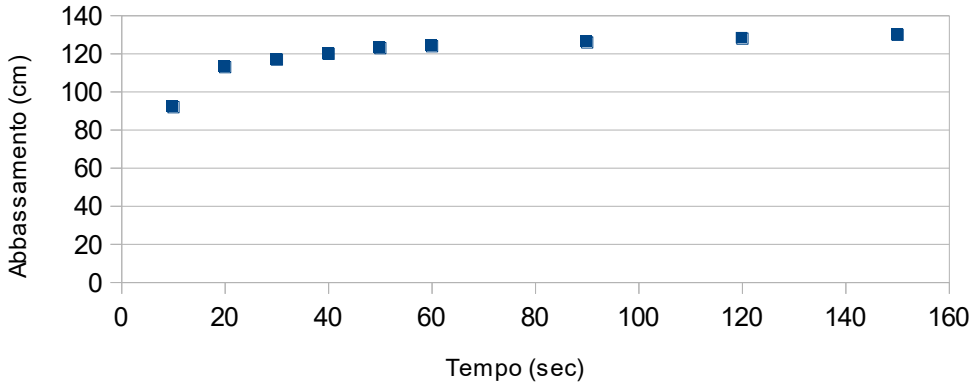
Tempo (sec)	Abbassamento livello H_20 (cm)	Differenza (cm)
10"	20	-
25''	27	7
40"	40	13
60"	64	24
80"	87	23
100"	100	13
120"	105	5
150"	116	11
180"	120	4

PROVA N. 4 – POSTAZIONE P17

Tempo (sec)	Abbassamento livello H20 (cm)	Differenza (cm)
20"	10	-
30"	31	21
60"	60	29
90"	85	25
120"	100	15

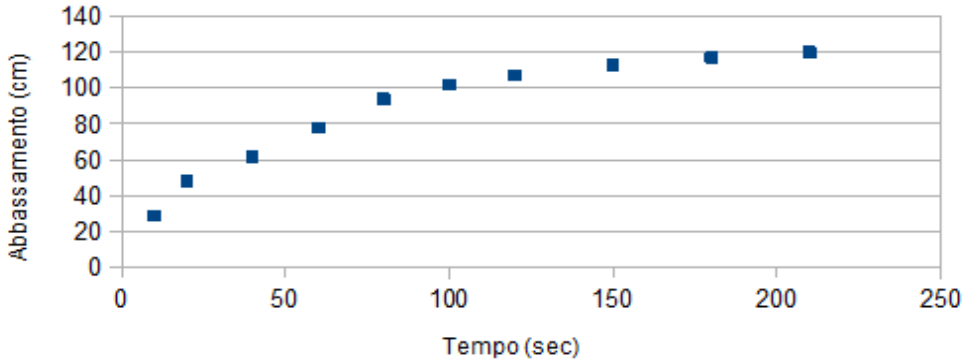
Prova n. 1

Postazione P2



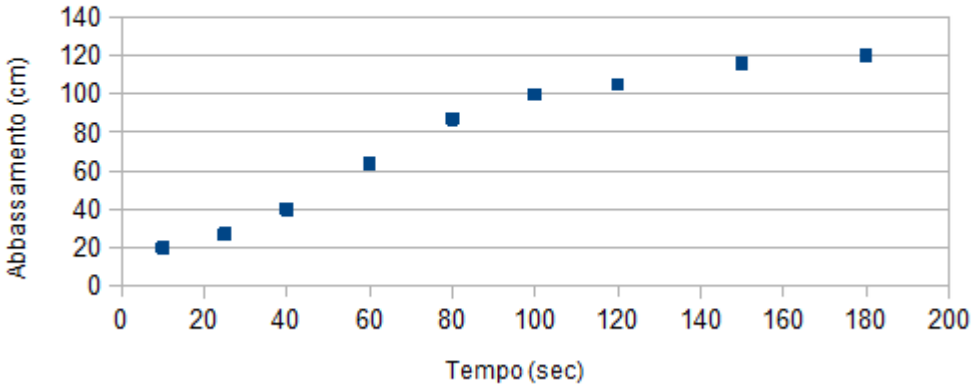
Prova n. 2

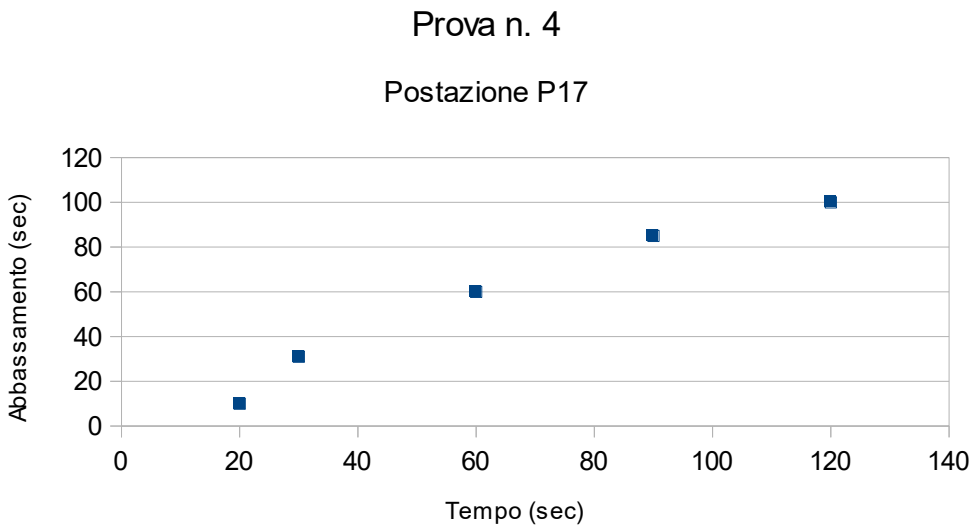
Postazione P7



Prova n. 3

Postazione P8





Misura della quota piezometrica nel punto P7.

3.2.4. Prova MASW

Per la ricostruzione del modello geofisico del sottosuolo è stata eseguita, in data 23 marzo 2018, un'indagine sismica superficiale con il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh), con tecnica MASW.

L'indagine sismica è stata atta a determinare la velocità delle onde di taglio Vs e sulla base di questi dati la categoria di sottosuolo e le azioni sismiche con cui progettare e verificare le opere di Ingegneria Civile. Lo scopo della prova è quello di valutare la risposta sismica dei suoli oggetto di studio, ai fini di una corretta microzonazione locale.

Il metodo MASW (*Multi-Channel Analysis of Surface Waves* - Analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva), è una tecnica di indagine sviluppata in parte per superare le difficoltà dell'applicazione del metodo SASW in ambienti rumorosi, e che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio Vs sulla base della misura delle onde superficiali, eseguita in corrispondenza di sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione.

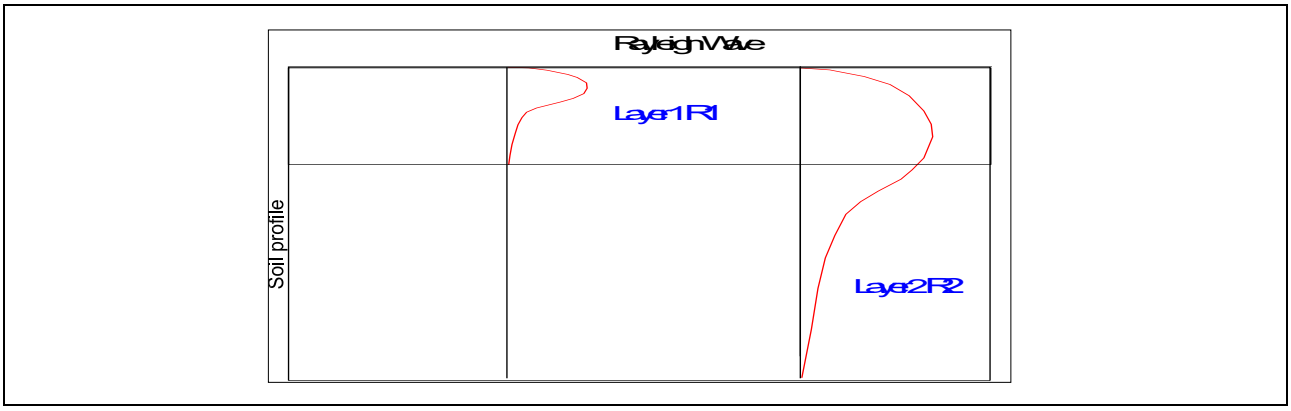
I principali riferimenti di carattere scientifico e metodologico sono i seguenti:

- Dal Moro G., Pipan M. & Gabrielli P., 2007, *Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probabilità Density Evaluation*, J. Appl. Geophysics, 61, 39-55;
- Park C. B., Miller R. D., & Xia J., 1999, *Multichannel analysis of surface waves*, Geophysics, 64, 3; 800-808.

La classificazione dei terreni si basa sul valore delle Vs_{eq}, definito dalla seguente equazione:

È necessario che il volume di terreno sia caratterizzato da valori di velocità Vs progressivamente crescenti con la profondità, infatti il principale limite di tale metodologia è rappresentato dal non poter distinguere ed individuare strati con velocità delle onde SH minori sottostanti a strati con velocità più elevate.

La porzione che predomina nelle onde superficiali, come detto, è costituita dalle onde di Rayleigh, la cui velocità è correlata alla rigidezza e ai parametri elastici dei suoli attraversati; è importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive: ciò significa che le onde con alte frequenze, e quindi con lunghezze d'onda corta, si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno, mentre le onde con lunghezze maggiori (basse frequenze) tendono a coinvolgere gli strati più profondi, così come di seguito illustrato.



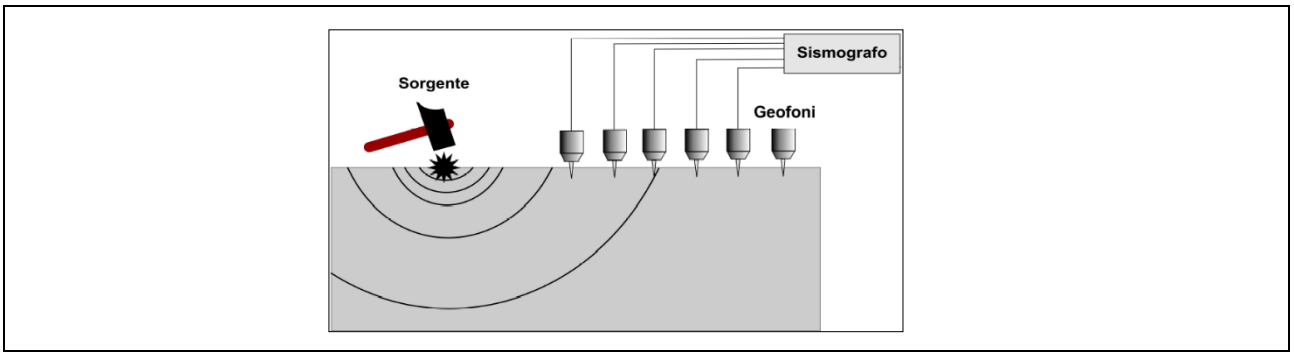
La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- acquisizione dei dati di campo;
- estrazione della curva di dispersione;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità.

La metodologia può essere di tipo sia attivo che passivo, o la combinazione di entrambi:

- nel sistema attivo le onde superficiali vengono generate artificialmente in un punto noto in modo non casuale e vengono registrate da stendimenti (arrays) lineari di sensori; Il metodo attivo è quello che meglio permette la classificazione sismica dei suoli, perchè fornisce con un miglior dettaglio il profilo delle velocità sismiche nei primi 30 metri da piano campagna; infatti con esso si ottiene una curva di dispersione per un range di frequenze normalmente comprese tra 5 Hz e 70 Hz, la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo, in funzione anche delle sue caratteristiche elastiche;
- nel metodo passivo lo stendimento di ricezione può essere sia lineare, che circolare e con esso si misura il rumore di fondo ambientale esistente; dall'utilizzo del metodo passivo si ottiene una maggiore investigazione in termini di profondità, ma una minore risoluzione delle velocità degli strati, soprattutto quelli più superficiali.

Le acquisizioni sono state realizzate tramite la stesa di un cavo sismico rettilineo lungo 22 metri, posizionando 12 geofoni verticali a frequenza naturale di 4,5 Hz e con un passo di due metri l'uno dall'altro. Il sismografo utilizzato per le acquisizioni dei dati in campagna è il modello PASI 16SG24 a 24 canali. L'energizzazione del terreno è stata ottenuta impiegando una mazza del peso di 9 kg. La figura seguente illustra lo schema di disposizione dei sensori e di trasmissione dell'impulso.



Durante la fase di acquisizione sono stati impostati shots a diverse distanze dall'estremità dell'allineamento sismico per valutare la stabilità della curva di dispersione sperimentale apparente; sono state quindi calcolate le velocità di taglio del sottosuolo sintetizzando il modello del terreno in cinque unità sismiche.

	Vs [m/s]	Profondità base [m da p.c.]	Litologia	SPT
LIVELLO 1	150	3 – 3,6	Sabbia limosa	1
LIVELLO 2	240	8	Sabbia ghiaiosa deb. limosa	7
LIVELLO 3	260	14 – 16	Sabbia ghiaiosa	9
LIVELLO 4	260	18	Argilla (?)	12 – 13
LIVELLO 5	330	30	Sabbia e ghiaia	23

Stratigrafia sismica prova MASW.

Ubicazione dello stendimento sismico.

Le energizzazioni sul lato A di norma hanno presentato distribuzioni di energia "sinuose" e valori di Vs più variabili, con leggere inversioni di velocità dopo i 20 m. Esse sono state ritenute meno attendibili delle energizzazioni sul lato A' perché anche nella rifrazione si è notata una dispersione di energia, probabilmente dovuta a movimenti di terra (scavi e riempimenti) che hanno disturbato la propagazione delle onde.

La $Vs_{,eq}$ è data dalla formula seguente:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

- h_i = spessore in metri dell'i-esimo strato
- $V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato
- N = numero strati
- H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Dallo sviluppo del calcolo si ottiene un valore di Vs_{eq} compreso tra 256 e 259 m/s, corrispondente a un sottosuolo di categoria C: "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*".

Esecuzione dell'indagine sismica.

Di seguito si riportano i dati delle singole acquisizioni e i risultati delle relative elaborazioni.

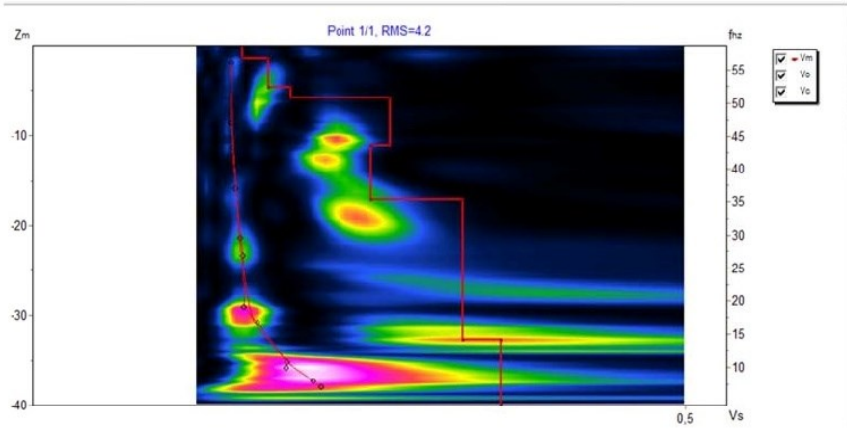
DATI DELL'ACQUISIZIONE

Numero geofoni= 12-verticali
Frequenza geofoni= 4,5 Hz
Distanza intergeofonica= 2 m
Energizzazione= mazza da 9 kg

Durata acquisizioni= 2 s
Tempo campionamento= 1000 μs
Filtri= nn
Guadagno= 20
Offset laterale = 2 m – lato A'

RISULTATI DELL'ELABORAZIONE

Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il picking	Andamento delle V_s con la profondità (V_S model)	Vs strato



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	0.14	0.22	1.7	0	1.5
2	0.16	0.22	1.7	1.5	3.1
3	0.18	0.22	1.7	4.6	1.2
4	0.26	0.22	1.7	5.8	5.4
5	0.24	0.22	1.7	11.1	6.1
6	0.32	0.22	1.7	17.2	15.4
7	0.35	0.22	1.7	32.7	*

160
250
330

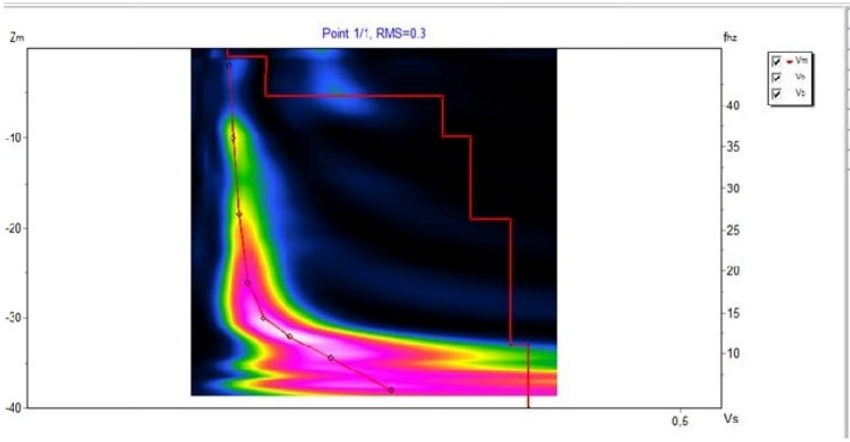
DATI DELL'ACQUISIZIONE

Guadagno= 20
Tempo campionamento= 500 μs

Offset laterale = 2 m – lato A

RISULTATI DELL'ELABORAZIONE

Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il picking	Andamento delle V_s con la profondità (V_S model)	Vs strato



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	0.13	0.22	1.7	0	1.0
2	0.16	0.22	1.7	1.0	1.7
3	0.16	0.22	1.7	2.7	2.8
4	0.31	0.22	1.7	5.4	4.5
5	0.33	0.22	1.7	9.9	9.2
6	0.36	0.22	1.7	19.1	13.9
7	0.38	0.22	1.7	33.0	*

160
320
370

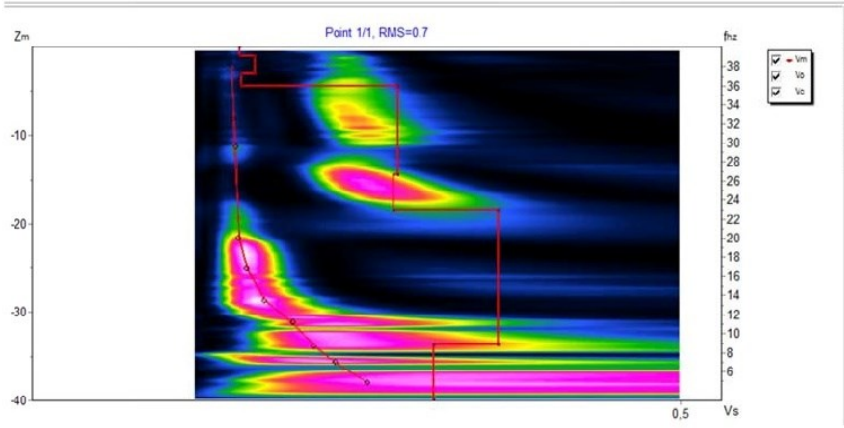
DATI DELL'ACQUISIZIONE

Guadagno= 50 **Offset laterale** = 5 m – lato A'

Tempo campionamento= 500 μs

RISULTATI DELL'ELABORAZIONE

Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il picking	Andamento delle V_s con la profondità (V_S model)	Vs strato



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	0.14	0.22	1.7	0	1.0
2	0.15	0.22	1.7	1.0	2.0
3	0.14	0.22	1.7	3.1	1.4
4	0.27	0.22	1.7	4.5	10.0
5	0.26	0.22	1.7	14.5	4.0
6	0.35	0.22	1.7	18.5	15.2
7	0.30	0.22	1.7	33.6	*

150

260

330

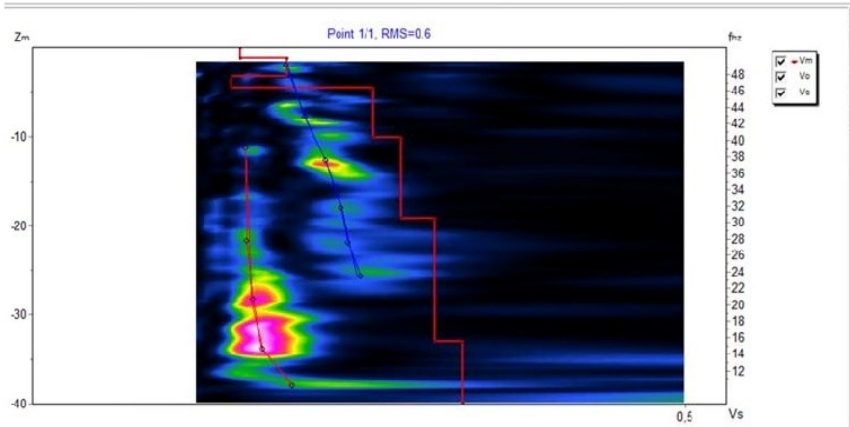
DATI DELL'ACQUISIZIONE

Guadagno= 100 **Offset laterale** = 10 m – lato A'

Tempo campionamento= 2000 μs

RISULTATI DELL'ELABORAZIONE

Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il picking	Andamento delle V_s con la profondità (V_S model)	Vs strato



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	0.14	0.22	1.7	0	1.1
2	0.17	0.22	1.7	1.1	2.2
3	0.13	0.22	1.7	3.3	1.3
4	0.25	0.22	1.7	4.6	5.5
5	0.27	0.22	1.7	10.1	9.1
6	0.30	0.22	1.7	19.2	13.8
7	0.32	0.22	1.7	33.1	*

150

260

310

3.2.5. Prospezione geofisica con metodo sismico a rifrazione

Se in un punto del suolo si provoca una vibrazione, essa si propaga ammortizzandosi progressivamente; il tempo necessario affinché la vibrazione stessa raggiunga dei ricevitori dipende dalla natura e dalla disposizione delle formazioni geologiche. La prospezione sismica ha per base lo studio di questi tempi di propagazione.

La vibrazione del suolo si traduce in un'emissione di onde di deformazione o onde elastiche e la propagazione delle onde stesse dipende dalle caratteristiche elastiche del mezzo. Tali onde si distinguono in:

- onde di Love e onde di Rayleigh, che si propagano solamente sulla superficie del suolo; hanno importanza nello studio dei terremoti e non vengono considerate nella sismica a rifrazione;
- onde longitudinali (onde P) di compressione o di dilatazione;
- onde trasversali (onde S) di taglio; la deformazione del terreno è perpendicolare alla direzione di propagazione.

Le onde trasversali si propagano meno velocemente delle onde longitudinali, le quali per prime arrivano ai sismometri. Il campo di variazione della velocità per uno stesso tipo di roccia è abbastanza ampio; la velocità, infatti dipende da numerosi fattori, quali ad esempio la compattezza, la porosità, la tessitura, l'alterazione della roccia. Inoltre la velocità sismica aumenta sia con la profondità, che con l'età delle formazioni rocciose e con l'aumentare dello stato di compattezza della roccia.

Nel suo propagarsi l'onda perde energia; tre sono le principali cause:

- una diminuzione naturale dell'intensità iniziale;
- una diminuzione per dissipazione sulle interfacce, dove l'energia in parte è riflessa, in parte è rifratta;
- una perdita di energia dovuta alle resistenze dissipative del mezzo in cui si propaga, cioè all'assorbimento graduale da parte del mezzo stesso sino all'estinzione.

Le operazioni sul terreno si articolano essenzialmente in tre principali fasi e comportano:

- realizzazione di un dispositivo sismico comprendente almeno due punti di scoppio ed una serie di ricevitori, chiamati geofoni, allineati sul piano topografico da investigare; i geofoni sono strumenti infissi per alcuni centimetri nel terreno che trasformano l'energia sismica in energia elettrica; la vibrazione del suolo è provocata generalmente nella sismica a rifrazione dallo scoppio di una carica all'interno di un cannoncino o dalla percussione di un grosso martello su una piastra collocata sul terreno stesso;
- trasmissione e registrazione dell'istante di scoppio e degli arrivi delle onde ai geofoni mediante un'unità centrale (sismografo); si ottengono così dei sismogrammi, che rappresentano i punti di partenza per la successiva interpretazione una volta estrapolati i tempi di arrivo; un sismogramma è costituito da più tracce (quanti sono i geofoni infissi nel terreno) e costituisce la rappresentazione grafica dei movimenti verticali del suolo;
- correzione topografica dei punti geofono e/o scoppio mediante opportuno rilievo topografico.

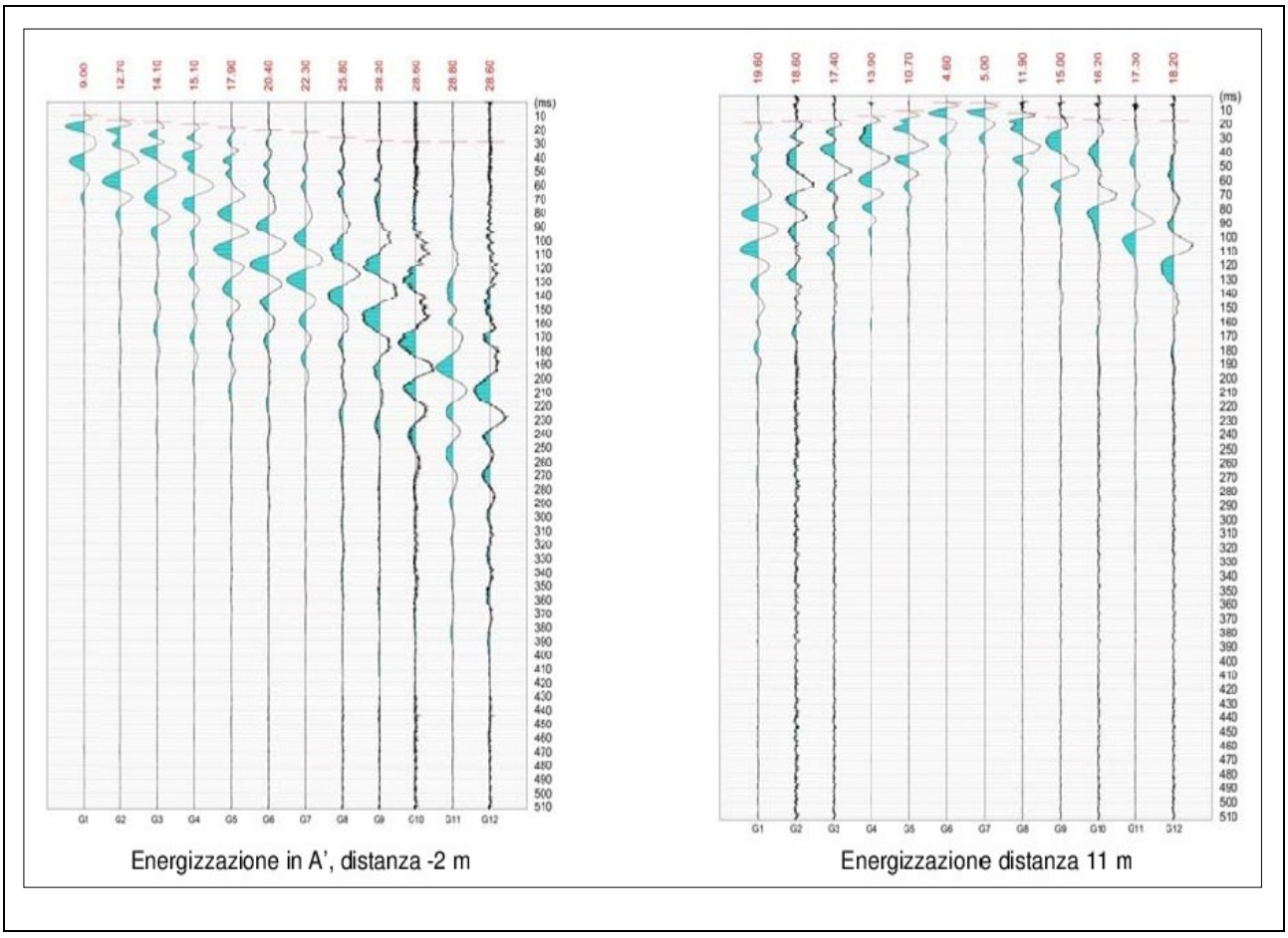
In conclusione, l'indagine geofisica, con la tecnica della sismica a rifrazione, è un'indagine di tipo indiretto, che permette di ricostruire la distribuzione in profondità di zone caratterizzate da differenti valori di velocità delle onde elastiche longitudinali (Vp), associabili a variazioni di granulometria e/o grado di fratturazione negli ammassi rocciosi. Tale tecnica permette quindi di delineare degli "orizzonti" rifrangenti che separano i depositi clastici di copertura dal sottostante substrato lapideo, che possono contribuire a più ampie correlazioni stratigrafiche e a ricostruzioni geomorfologiche. Altrettanto significativa è la possibilità di cogliere, entro uno stesso strato, tipici effetti di anisotropia

laterale, evidenziati da variazioni dei valori di velocità di propagazione delle onde elastiche, il cui significato fisico va legato alla geologia specifica di ciascun sito di indagine.

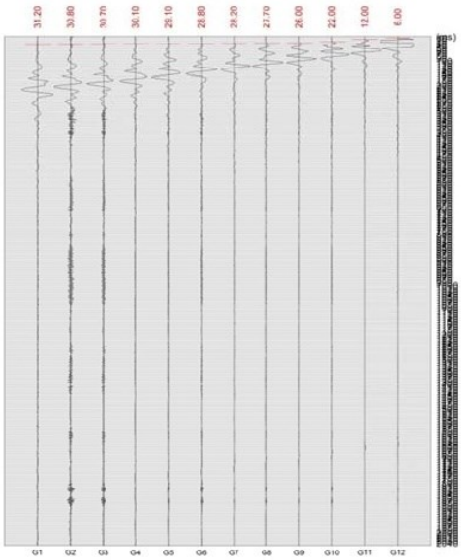
Per ciò che concerne le indagini effettivamente svolte, le acquisizioni sono state realizzate tramite la stesa di un cavo sismico rettilineo lungo 22 metri, posizionando 12 geofoni verticali a frequenza naturale di 4,5 Hz e con un passo di due metri l'uno dall'altro. Il sismografo utilizzato per le acquisizioni dei dati in campagna è il modello PASI 16SG24 a 24 canali.

L'energizzazione del terreno è stata ottenuta impiegando una mazza del peso di 9 kg. I dati delle acquisizioni sono:

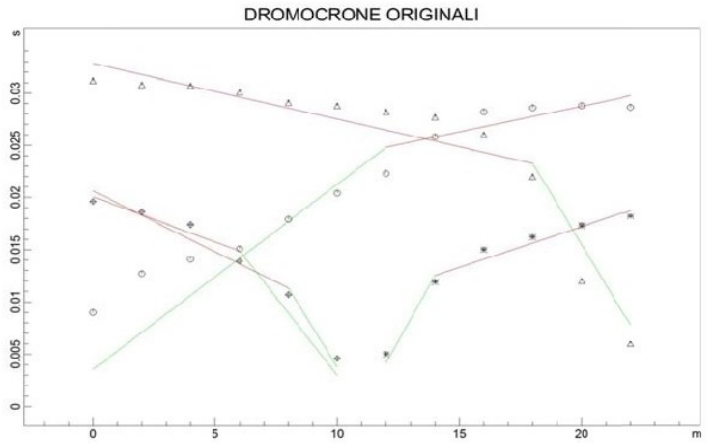
- durata acquisizioni: 512 ms
- offset laterali: 10 m
- n. energizzazioni: 3
- rilievo profilo del terreno: bindelle manuali da 50 m



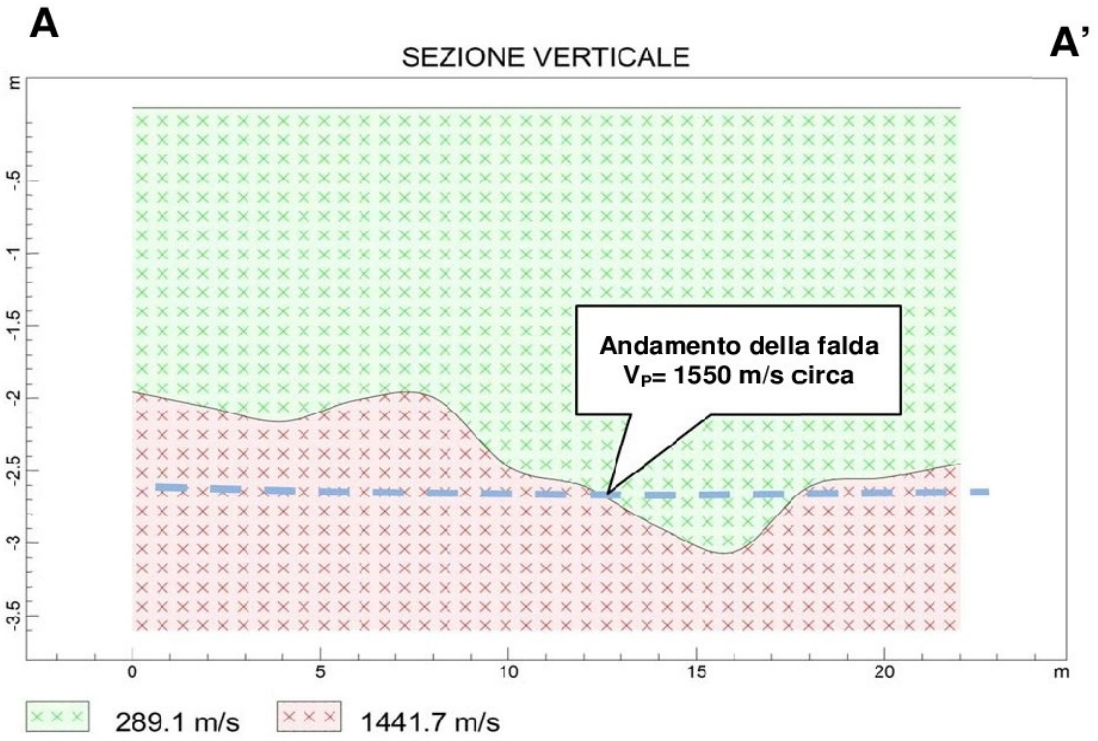
Sismogrammi di acquisizione con individuazione dei primi arrivi.



Energizzazione distanza 24 m



Dromocroma



3.2.6. Sondaggio geognostico a carotaggio continuo

In data 27 febbraio 2018 è stato eseguito, a sud ovest del Centro Girasole ma in area sempre di proprietà AF Green, un sondaggio verticale denominato S1, i cui risultati sono estendibili al sito d'intervento.

Il sondaggio è stato effettuato mediante sistema a carotaggio continuo; l'attrezzatura utilizzata è stata una sonda perforatrice gommata GEOMARC. Trattandosi di terreni a supporto granulare e quindi sciolti, il sostentamento della parete del foro è stato assicurato dall'infissione di una tubazione di rivestimento provvisoria di diametro adeguato (carotiere 101 mm / rivestimento 127 mm). Tutto il materiale carotato è stato riposto in apposite cassette catalogatrici munite di 5 scomparti della lunghezza di un metro, su cui sono state scritte le progressive di avanzamento del sondaggio.

La descrizione stratigrafica di dettaglio del sottosuolo rilevato durante la perforazione è la seguente:

- 0,00 – 0,30 m terreno vegetale costituito da limo debolmente argilloso
- 0,30 – 3,40 m limo debolmente sabbioso
- 3,40 – 4,20 m argilla grigia
- 4,20 – 10,00 m sabbia ghiaiosa debolmente limosa
- 10,00 – 13,30 m sabbia debolmente ghiaiosa
- 13,30 – 15,00 m sabbia

Cassetta catalogatrice n. 1 da 0.00 a 5.00 m.

Cassetta catalogatrice n. 2 da 5.00 a 10.00 m.

Cassetta catalogatrice n. 3 da 10.00 a 15.00 m.

Esecuzione del sondaggio.

3.2.7. Prove geotecniche in foro

La prova SPT (*Standard Penetration Test*) consiste nell'infiggere a percussione nel terreno un campionatore di dimensioni e forma normalizzate, facendolo cadere da un'altezza prestabilita; essa trova il suo migliore campo di applicazione nei materiali a prevalenza sabbiosa, mentre risulta mediamente applicabile nei terreni ghiaiosi e limitatamente applicabile nei terreni fini coesivi.

Si conta il numero di colpi (N1, N2 e N3) necessario per fare penetrare il maglio lungo tre tratti successivi. Il primo valore N1 è considerato di avviamento e se è pari a 50 e l'avanzamento è minore di 15 cm indica che bisogna considerare la prova conclusa. In caso contrario si prosegue con l'infissione per un tratto pari a 30 cm, contando separatamente il numero per avanzare nei primi 15 cm (N2) e nei secondi 15 cm (N3), purché insieme non siano superiori a 100. Se N2 + N3 è pari a 100 e non si raggiunge l'avanzamento richiesto, l'infissione è sospesa e la prova è considerata conclusa. La somma di N2 e N3, chiamata N_{SPT}, è il parametro che serve per valutare la resistenza del terreno. N1, invece, non è considerato perché si riferisce ad un tratto in cui il terreno potrebbe essere rimaneggiato e non più rappresentativo delle reali condizioni del sito.

Per le caratteristiche dell'attrezzatura ci si riferisce agli standard dell'Associazione Geotecnica Italiana ("*Raccomandazioni per le indagini geotecniche*", 1977), che indicano:

- peso maglio: 63,5 kg
- diametro cono: 5,1
- penetrazione 30 cm
- altezza di caduta: 760 mm
- diametro aste di infissione: 50 mm
- peso aste di infissione: 7,0 kg
- rapporto di energia delle aste: 60%

Nel foro del sondaggio S1 sono state eseguite n. 5 prove penetrometriche dinamiche di tipo S.P.T. a diverse profondità, in modo tale che correlando i dati per la singola verticale risultasse indagato l'intero terreno compreso tra - 3 m e - 15 m. Nella Tabella seguente si riporta il numero dei colpi registrati durante l'esecuzione delle prove alle diverse profondità.

Profondità (m da p.c.)	*N1*	*N2*	*N3*	N_{SPT}
3,0	1	1	1	2
6,0	6	7	8	15
9,0	5	6	11	17
12,0	7	9	12	21
15,0	9	12	13	25

N. colpi registrati durante l'esecuzione delle prove SPT, con calcolo di N_{SPT}

3.2.8. Analisi granulometriche

Dalle cassette catalogatrici di cui al sondaggio S1 descritto al paragrafo precedente, si sono prelevati n. 3 campioni di terreno, rispettivamente alla profondità di 5, 10 e 15 m dal p.c. I campioni prelevati sono stati etichettati in modo stabile riportando informazioni necessarie alla loro identificazione, quali:

- la data di campionamento
- il codice di identificazione
- la localizzazione
- la profondità del campione

Al termine delle operazioni di prelievo si è provveduto al trasferimento dei campioni presso laboratorio specializzato di analisi terreni, autorizzato e con Sistema di Qualità certificato, ove è stata eseguita l'analisi granulometrica per setacciatura (via umida).

Le analisi granulometriche sono state eseguite secondo gli standard ASTM D 421, D 422 e Raccomandazioni AGI 1994. Per ciascun campione, oltre alla classificazione delle terre, sono stati ricavati i seguenti parametri:

- Umidità %
- Coefficiente di Uniformità D_{60}/D_{10}
- Percentuale di Fine (FC)
- d_{50} diametro della curva granulometrica corrispondente al passante al 50%

Alla tabella sottostante si riporta una sintesi dei risultati ottenuti. Le copie dei certificati sono riportate in ***Appendice 4***, ove sono rappresentate le curve granulometriche che evidenziano la natura dei terreni significativi alle diverse profondità di campionamento.

Campione	**C1-A**	**C1-B**	**C1-C**
Profondità [m]	5	10	15
Peso secco tot. trattato [g]	1.791,1	1.791,1	1.791,1
Descrizione	sabbia ghiaiosa debolmente limosa	sabbia debolmente ghiaiosa	sabbia
Coefficiente di Uniformità D_{60}/D_{10}	11,18	7,44	5,71
Percentuale di Fine (FC) [%]	9,2	9,2	9,2
D_{50} [mm]	0,7	0,58	0,32

Il parametro Uc – coefficiente di uniformità - è dato dal rapporto D_{60}/D_{10}, ove D_{60} e D_{10} sono i diametri delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa.

Per quanto riguarda le condizioni di umidità, i terreni analizzati si presentano poco umidi, con un'umidità del 9,1%.

4.1. Modello Geotecnico

Nel presente capitolo si ricostruisce e descrive il Modello Geotecnico di massima dell'area, facendo riferimento al quadro legislativo vigente (§§ C6.2.2 e C7.2.2 della C.S.LL.PP. n. 617/2009), ove si precisa che "*i risultati delle indagini e prove geotecniche, eseguite in sito e in laboratorio, devono essere interpretate dal progettista che, sulla base dei risultati acquisiti, della tipologia di opera e/o intervento, delle tecnologie previste e delle modalità costruttive, deve individuare i più appropriati modelli geotecnici di sottosuolo e i valori caratteristici dei parametri geotecnici ad essi correlati, […] laddove per modello geotecnico si intende uno schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni compresi nel volume significativo, finalizzato a fornire i dati necessari per le verifiche geotecniche e per l'impostazione delle successive fasi di attività*".

I dati relativi al Modello Geologico di riferimento sono inseriti nel Capitolo 2, ove si ricostruisce lo stato del territorio attraverso la descrizione delle condizioni morfologiche, litostratigrafiche e idrogeologiche dell'area.

4.2. Caratterizzazione geotecnica preliminare

L'analisi dei risultati delle prove SCPT svolte ha consentito di poter parametrizzare il sottosuolo in termini di proprietà indice, caratteristiche di consistenza e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali; in particolare, dai valori medi di N_{20} = numero di colpi necessari per un avanzamento di 20 cm si sono ricavati i corrispondenti valori di N_{SPT} (numero della *Standard Penetration Test*) attraverso le medie scaturite dalle correlazioni empirico-sperimentali maggiormente riconosciute in ambito tecnico-scientifico internazionale. Successivamente, da detto valore di N_{SPT}, nonché da esperienze simili in terreni del tutto analoghi ed estrapolando opportunamente i risultati, si sono ricavati i valori dei parametri di resistenza degli strati di terreno interessati dalle indagini geognostiche.

Relativamente all'interpretazione delle prove SCPT, si ricorda che la correlazione empirica tra stato di addensamento (per terreni granulari), densità relativa D_R e N_{SPT} è espressa nella seguente tabella:

Nspt	Densità Relativa – D_R [%]	Valutazione dello stato di addensamento
0 - 4	0 ÷ 20	sciolto
4 - 10	20 ÷ 40	poco addensato
10 - 30	40 ÷ 60	moderatamente addensato
30 - 50	60 ÷ 80	addensato
>50	80 ÷ 100	molto addensato

Classificazione orientativa dello stato di compattezza dei terreni incoerenti e correlazione empirica tra stato di addensamento (per terreni granulari) e densità relativa D_R [%].

Confrontando i diagrammi penetrometrici, nonché considerando la media delle varie resistenze con la profondità, la successione dei terreni attraversati può essere schematizzata nel seguente **modello geologico-geotecnico del sottosuolo**:

- *1° livello, superficiale:* si sviluppa fino a mediamente 4 m dal p.c. anche se localmente può estendersi a maggiore profondità, nell'indagine P20 raggiunge infatti i 7 m - la media dei valori rilevati dalle prove dinamiche si attesta sui 2 colpi per avanzamento di 20 cm - è costituito da terreni molto sciolti ($D_R < 20\%$ - $\varphi_{medio} < 30°$);
- *2° livello, intermedio:* si sviluppa a partire dal letto stratigrafico dello strato precedente fino a mediamente 16 m dal p.c. - la media dei valori rilevati dalle prove dinamiche si attesta sugli 8 colpi per avanzamento di 20 cm - è costituito da terreni compatti moderatamente addensati ($D_R \approx 43\%$ - $\varphi_{medio} \approx 36°$).
- *3° livello, profondo:* si sviluppa a partire dal letto stratigrafico dello strato precedente fino a 20 m dal p.c. - la media dei valori rilevati dalle prove dinamiche si attesta sui 18 colpi per avanzamento di 20 cm - è costituito da terreni da moderatamente addensati ad addensati ($D_R \approx 60\%$ - $\varphi_{medio} \approx 40°$).

Utilizzando i risultati delle prove penetrometriche SCPT mediante la correlazione:

$$N_{(20)} / NSPT = 0,6 \text{ (correlazione AGI, 1987)}$$

ovvero la correlazione tra il numero di colpi necessari per l'infissione di 20 cm della punta del penetrometro dinamico utilizzato e il corrispondente indice N_{SPT} della prova penetrometrica SPT, è stato possibile ricavare alcune proprietà specifiche dei terreni di fondazione come i valori di densità relativa e l'angolo di attrito interno:

- γ = peso di volume naturale [kN/m^3],
- γ' = peso di volume saturo [kN/m^3],
- φ_{medio} = valore deterministico dell'angolo di attrito interno [gradi sessadecimali],
- φ_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito, corrispondente al 5° percentile della media [gradi sessadecimali],
- D_R = densità relativa [%],
- Y = modulo elastico di Young [kN/m^2].

Il parametro φ rappresenta un valore derivato (acquisito ed elaborato) dell'angolo di attrito interno, mentre il parametro φ_k è stato calcolato nel seguente modo:

- considerando il 5° percentile della distribuzione della media di un totale di n. 20 dati, ovvero corrispondenti alle n. 20 prove SCPT eseguite,
- adottando un coefficiente di variazione COV pari al 10% (Baecher & Christian, 2003),
- considerando volumi di rottura piccoli e distribuzione normale Φ,
- applicando la formula:

$$x_k = \bar{x} - 1.645\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$$

Il comportamento geotecnico dei terreni è stato assunto di tipo incoerente, con valore nullo di coesione, resistenza al taglio in condizioni drenate, assenza di componenti secondarie differite nel tempo (consolidazione).

Per quanto concerne la distribuzione verticale del sottosuolo, viene considerata la profondità massima di 20 m dal p.c. attuale.

Livello litotecnico	Prof. [m da p.c.]	N_{SPT}	γ [kN/m^3]	γ' [kN/m^3]	φ_{medio} [°]	φ_k [°]	D_R [%]	Y [kN/m^2]	Addensamento
A	0,0 ÷ 4,0/7,0	3	17,7	18,6	24	21	15	9806,65	molto sciolto
B	4,0/7,0 ÷ 16,0	13	18,6	19,6	36	29	43	19613,30	compatto
C	16,0 ÷ 20,0	30	19,1	20,6	40	33	60	49033,25	da compatto a denso

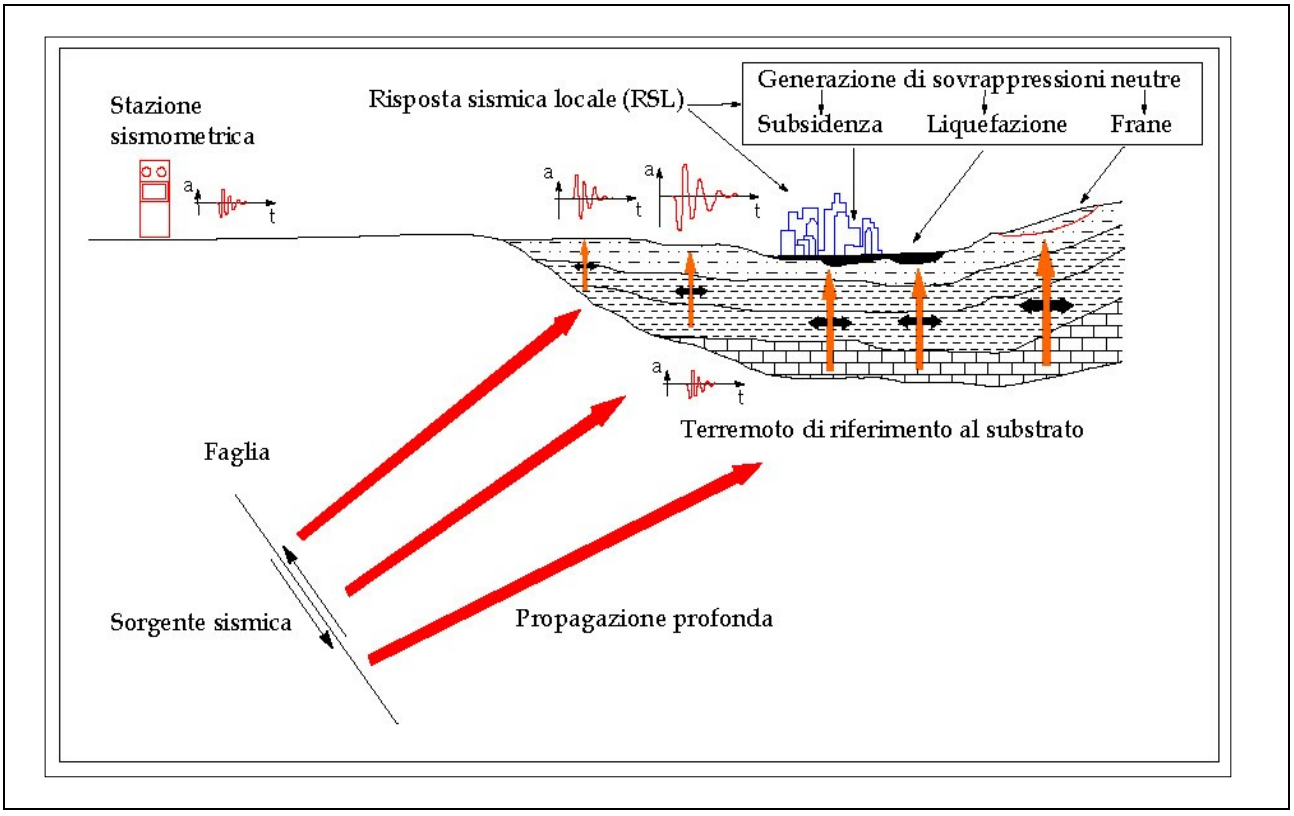
Sulla base di quanto esposto, si pone in evidenza quanto segue:

- i valori caratteristici sono rappresentativi di una situazione di compensazione delle zone deboli e forti del terreno, laddove è prevista una struttura di fondazione rigida (p.to 6.2.2. della Circolare: "*Valori caratteristici dei parametri geomeccanici*"); tali valori non possono essere estesi a priori a fondazioni non rigide, a meno che lo spessore di influenza della fondazione non sia grande in relazione alla scala di fluttuazione dei parametri geomeccanici, come evidenziato nello stesso punto 6.2.2;
- il citato punto 6.2.2 recita: *"Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidezza sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti. Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidezza. [...] Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato"*;
- i parametri geotecnici definiti nel presente paragrafo e quelli caratteristici utilizzati dal Progettista strutturale per il calcolo delle strutture e la verifica delle fondazioni devono essere coerenti tra loro; la loro eventuale difformità dovrà essere giustificata e adeguatamente motivata dal Progettista strutturale, che se ne assume la responsabilità.

5.1. Individuazione della pericolosità del sito

Il presente capitolo ha lo scopo di valutare la risposta sismica locale in base alle caratteristiche morfologiche, topografiche e litologiche dell'area in esame, e stabilire per essa un grado d'interazione degli effetti indotti dagli eventi sismici, allo scopo di indirizzare le scelte progettuali e realizzative in fase di dimensionamento delle opere e loro ubicazione.

Come da NTC, la pericolosità sismica di base costituisce la "prima azione", che si trasmette a partire dal cosiddetto «bedrock» o sito di riferimento rigido. La seconda azione, che modifica la prima, è data dalle variazioni, indotte sulla prima azione, dalle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche del sottosuolo sovrastante il bedrock; l'insieme dei fenomeni di trasformazione fisica (ondulatoria, variazioni in ampiezza e contenuto in frequenza) che affligge il treno d'onde che si propaga in tale sottosuolo, passa sotto il nome di *Risposta Sismica Locale* (RSL), poiché caratterizzata da effetti propri del sito.



Propagazione di un evento sismico dalla sorgente al sito (scala distorta).

Per ridurre gli effetti dei terremoti, l'azione dello Stato si è concentrata sulla classificazione del territorio, in base all'intensità e frequenza dei terremoti del passato, e sull'applicazione di speciali norme per le costruzioni nelle zone classificate sismiche. In Regione Lombardia le condizioni geologiche non sono così drammatiche come in molte altre regioni italiane, tant'è che in generale il livello di pericolosità sismica è basso o molto basso, con la sola eccezione dell'area del Lago di Garda. Anche il patrimonio edilizio nel suo insieme può essere considerato da buono a ottimo (con esclusione degli edifici storici) e il terremoto di Salò del 24 novembre 2004 (grado Mercalli di 7/8) ha causato

un danno complessivo di circa 200 milioni di euro, cifra importante ma non paragonabile ai miliardi di euro dei terremoti in Umbria, Marche e Molise.

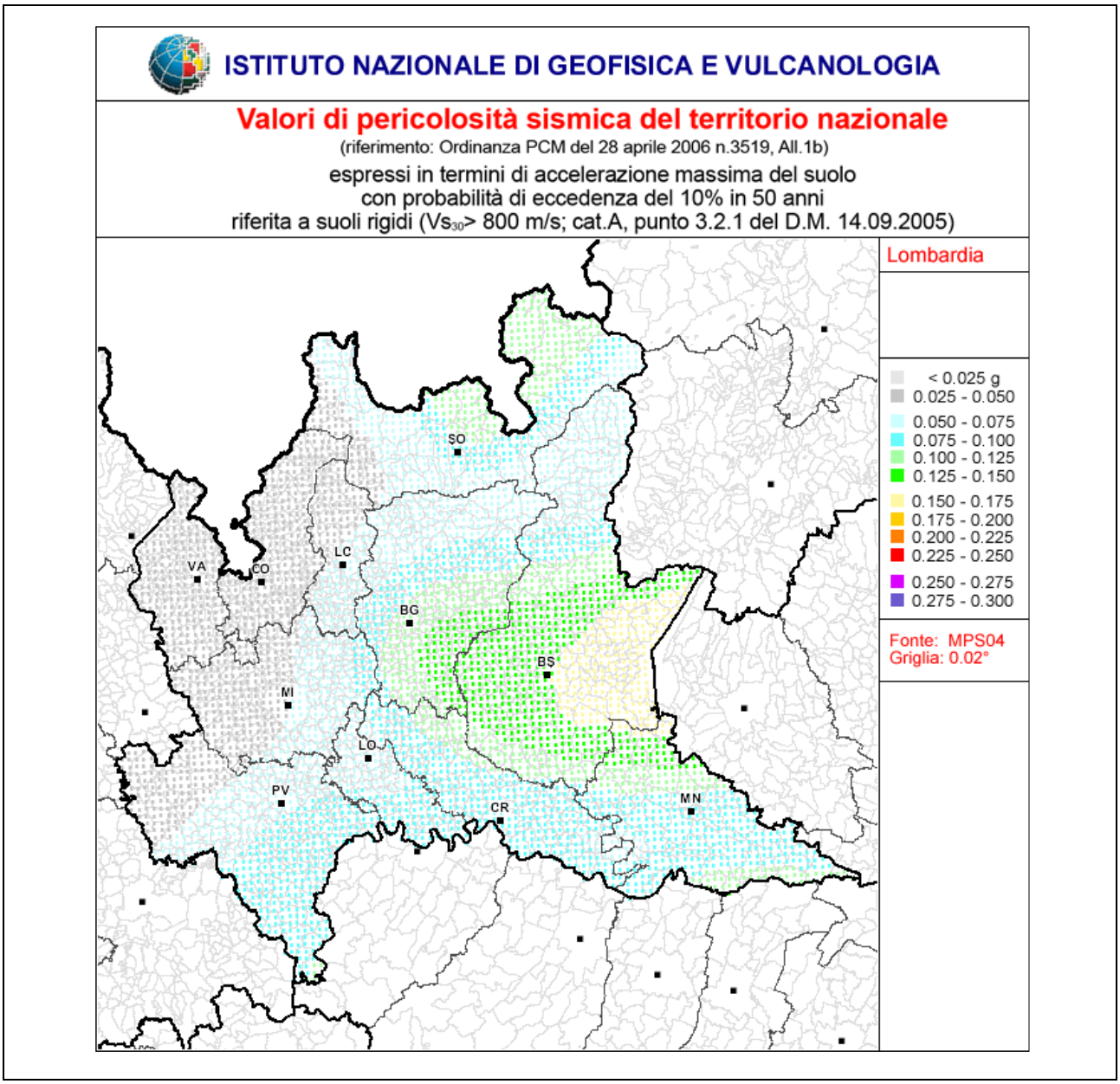
Il principale evento segnalato negli archivi storici come risentito dalla popolazione e dai manufatti presenti nel territorio indagato è dato dal sisma del 12 maggio 1802 con area epicentrale nella Valle dell'Oglio e Maw = 5.67; tale evento si è sentito nel milanese con intensità circa pari a 5.

Il terremoto di Verona del 3 gennaio 1117 fu l'evento sismico più forte avvenuto nel nord Italia di cui si abbia notizia (Guidoboni *et al.*, 2005) e che ebbe effetti devastanti in tutta l'area raggiungendo una magnitudo momento Mw pari a 6,52. Approfonditi studi recenti hanno verificato come gli effetti siano dovuti alla concomitanza di più eventi (Guidoboni & Comastri, 2005). Esso venne avvertito anche in buona parte dell'Europa centrale e fu causa di sconvolgimenti economico/sociali (Guidoboni & Boschi, 1991). Ad oggi non si sa ancora se è stato un evento 'random' oppure un vero e proprio terremoto caratteristico.

Il terremoto di Asolo del 1695 interessò l'alto trevigiano a sud del Monte Grappa con distruzioni gravissime in più di 30 centri abitati. La scossa fu avvertita anche da territori emiliani e lombardi sino a Varese. Provocò centinaia di morti, acuendo una crisi economica già in corso e causando lo spopolamento di diversi centri (Guidoboni *et al.* 2007). Il resto della Pianura Padana ha avuto solo evidenze di 'piccoli' terremoti, tipo quello di Salò del 2004.

Anno	Me	Gi	AE	Mw
1117	01	03	Veronese	6.52
1346	02	22	Ferrara	5.81
1873	06	29	Bellunese	6.33
1887	02	23	Liguria occidentale	6.29
1901	10	30	Salò	5.67
1905	04	29	Alta Savoia	5.79
1920	09	07	Garfagnana	6.48
1976	05	06	Friuli	6.43
2012	5	20	Finale Emilia	5.90
2012	5	29	Medolla e Cavezzo	5.80

Storia sismica: catalogo parametrico dei terremoti nel nord Italia - eventi con Magnitudo Momento > 5.6
AE = denominazione dell'area dei maggiori effetti,
Mw = Magnitudo momento.



Carta della pericolosità sismica di base (OPCM n. 3519/2006) presa come riferimento nelle NTC.

Nonostante l'apparente monotonia della pianura lombarda, la geometria del sottosuolo risulta molto complessa ed interessata da sovrascorrimenti, duplicazioni, ondulazioni e pieghe, generate dalle stesse spinte orogenetiche che hanno determinato la formazione delle Alpi e degli Appennini. In profondità sono infatti presenti tre serie di thrust sepolti, di cui due a sviluppo sequenziale frontale e uno a sviluppo sequenziale a ritroso, costituenti sistemi di grandi pieghe asimmetriche con andamento anticlinalico; essi si sono formati attraverso faglie inverse e sovrascorrimenti immergenti verso sud-ovest con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30°.

In Letteratura queste zone di scollamento tettonico sono note "*External Thrust Front*" sull'allineamento Parma – Reggio Emilia – Ferrara, "*Pedeapenninic Thrust Front*" lungo il margine morfologico dell'Appennino Settentrionale, e "*Pedealpine Thrust Front*" sull'allineamento Lodi – Peschiera del Garda – Val d'Adige. Tali zone di scollamento tettonico si estendono su scala regionale in tutto il bacino padano da ovest ad est per convergere verso sud, all'altezza di Ravenna, seguendo l'allineamento Appennini – Mare Adriatico.

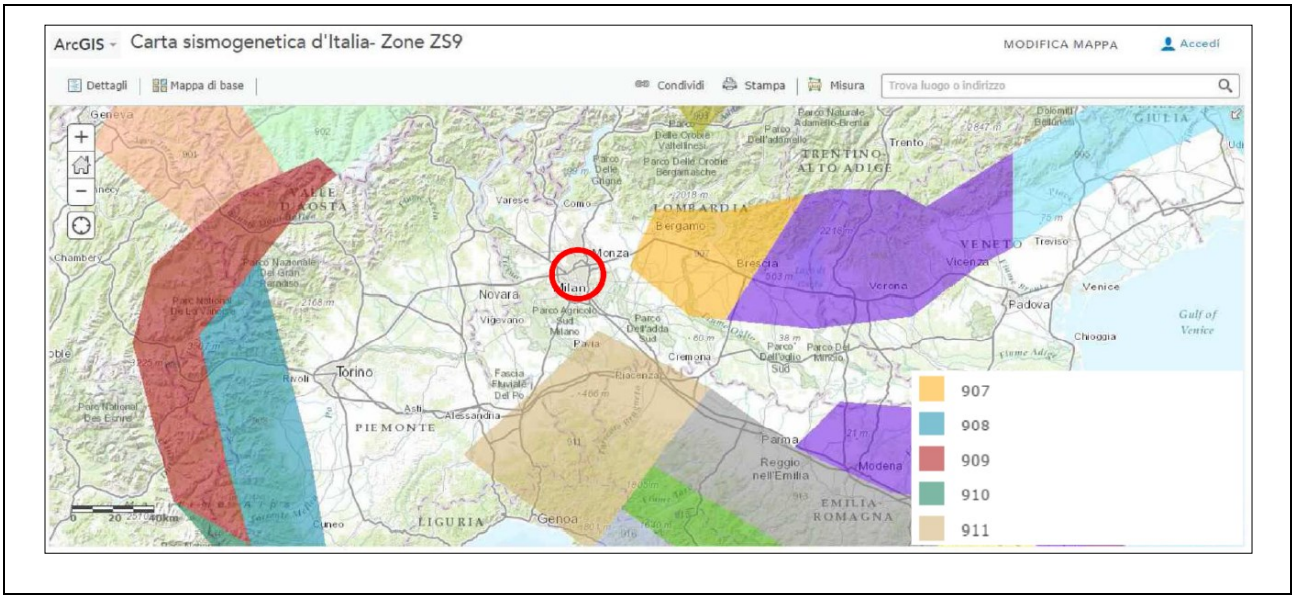
Nel complesso le strutture note come Pieghe emiliane e Pieghe Ferraresi costituiscono delle dorsali sepolte (o alti strutturali) che separano o inglobano bacini satelliti subsidenti, nei quali si assiste ad un notevole ispessimento dei sedimenti marini e continentali; si tratta di strutture depresse profonde con andamento tipicamente sinclinalico. In questi settori la subsidenza è instaurata da vari milioni di anni ed in maniera più accentuata dall'inizio del Pliocene con tasso di abbassamento di uno o più mm all'anno. Il tracciato del Po nell'area in esame è quindi impostato in corrispondenza della struttura sinclinalica della Monoclinale Pedealpina, compresa tra l'External Thrust Front e il Pedealpine Thrust Front.

Il territorio comunale di Lacchiarella, secondo la classificazione dei comuni lombardi di cui alla D.G.R. 11 luglio 2014, n. X/2129, ricade in **Zona sismica 3**. L'accelerazione sismica orizzontale massima su suolo rigido e pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in un intervallo di tempo di 50 anni, è pari a $\mathbf{Ag_{max} = 0{,}058571\ g}$ (v. O.P.C.M. 3519/06, in Lombardia varia da 0,037 a 0,163 g). L'accelerazione sismica è il principale parametro descrittivo della pericolosità di base utilizzato per la definizione dell'azione sismica di riferimento per opere ordinarie (Classe II delle NTC).

Il Catalogo DISS versione 3.2.0. dell'INGV individua le principali sorgenti sismogenetiche per terremoti di magnitudo >5.5: l'area in studio non è interessata dalla presenza di sorgenti sismogenetiche composite e la sorgente ITCS115 denominata "*Western S-Alps external thrust shallow-west*" è esterna al comparto in esame e a una distanza di circa 20 km.

Consultando la zonizzazione della Carta sismogenetica ZS9 dell'INGV relativa al Nord Italia si riesce a definire la "*profondità efficace*", ovvero quella profondità alla quale avviene il maggior numero di eventi sismici che determinano la pericolosità della zona. Il territorio comunale di Lacchiarella è posto tra la Zona 907 e la Zona 911. La Zona 907 include la parte più bassa delle province di Bergamo e Brescia ed è caratterizzata da una sismicità di energia normalmente medio – bassa, con la sola eccezione del citato terremoto di Soncino del 1802.

La Zona 911 comprende il cosiddetto "*Arco di Pavia*" e le strutture ad esso relative; ad essa è stata attribuita una Mw massima di 5.68 Mw.



Carta sismogenetica ZS9 dell'INGV relativa al nord Italia.

5.2. Valutazione dei parametri sismici sito-specifici (approccio semplificato)

L'approccio semplificato previsto dalle NTC 2018 prevede l'analisi e la valutazione dei seguenti parametri sismici:

- *vita nominale di progetto,*
- *classe d'uso,*
- *periodo di riferimento per l'azione sismica,*
- *categoria di sottosuolo,*
- *condizioni topografiche.*

Nella scelta della strategia di progettazione, mediante l'utilizzo di software dedicato, si sono considerati i seguenti parametri di input:

- vita nominale di progetto **V_N = 50 anni**,
- classe d'uso **Cu = II**,
- coefficiente d'uso **C = 1**,
- periodo di riferimento per l'azione sismica **Vr = V_N · C = 50 anni**;
- coefficiente di smorzamento viscoso **ξ = 5%**.

Vita nominale di progetto

La vita nominale V_N di un'opera strutturale viene intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, debba poter essere usata per lo scopo a cui è destinata; la vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata nella tab. 2.4.I. delle NTC-18: per le "*costruzioni con livelli di prestazioni ordinari*" deve essere utilizzato un valore minimo di V_N pari a 50 anni.

Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. L'opera in progetto qui considerata ricade in Classe d'uso II: "*Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali […]. Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento), gli uffici, i negozi*".

Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche su una costruzione sono valutate in relazione a un periodo di riferimento V_R che si ricava moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C ($V_R = V_N \cdot C$) (v. anche tab. 2.4.II. delle NTC-18). Nel caso in esame, il periodo di riferimento per la costruzione è pari a 50 anni.

Categoria di sottosuolo

Le NTC 2018 introducono il parametro Vs_{eq} (valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq}\ (m/s) = H / \sum h_i / V_i$$

dove:

- h_i = spessore in metri dello strato i-esimo,
- V_i = velocità dell'onda di taglio nello strato i-esimo,
- H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno

molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

L'identificazione della categoria di sottosuolo è stata eseguita sulla base dell'indagine sismica effettuata (v. §§ 3.2.4. e 3.2.5. precedenti), che ha fornito un valore di Vs compreso tra 256 e 259 m/s. I depositi indagati hanno profondità H del substrato superiore a 30 m, pertanto la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo H = 30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

La tabella 3.2.II. delle NTC 2018 indica la categoria sismica di appartenenza del suolo di fondazione: in base al valore di Vs ottenuto si può affermare che il terreno sia assimilabile alla categoria C.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D,* con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Condizioni topografiche

Per quanto concerne le condizioni topografiche, nella tab. 3.2.III delle NTC 2018, riportata nel seguito, sono classificate le diverse configurazioni superficiali; per ciascuna categoria la tab. 3.2.V delle NTC prevede un coefficiente topografico S_T.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15°$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15°$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15° \leq i \leq 30°$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30°$

Il comparto in esame ha una pendenza media di 0,12 gradi, derivata dal modello digitale del terreno del territorio regionale a cella 20x20m; per configurazioni superficiali semplici come quella in esame non sono attese amplificazioni e, adottando la classificazione prevista dalle NTC, risulta la categoria

T1: "*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°*". Il valore del coefficiente topografico S_T corrispondente alla categoria topografica T1, è $S_T = 1$.

Fattore di comportamento

Il valore del fattore di comportamento q da utilizzare per ciascuna direzione dell'azione sismica dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità, dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità del materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 \cdot K_R$$

ove:

- q_0 è il valore massimo del fattore di struttura, che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto $\alpha u/\alpha 1$ tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;
- K_R è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari a 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari.

Nei confronti delle azioni sismiche gli Stati Limite, sia di Esercizio che Ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali e quelli non strutturali.

Gli Stati Limite sono intesi come gli stati oltre i quali la struttura non soddisfa i criteri di progetto, ovvero gli stati situati alla frontiera tra il dominio di stabilità e quello di instabilità. Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento Vr), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata "*probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento*" P_{VR}.

Il "*periodo di ritorno*" Tr è il periodo medio intercorrente fra un sisma e il successivo di eguale intensità. Per ciascuno Stato Limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento, il periodo di ritorno del sisma è dato da:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{V_R}) = -C_U \cdot V_N / \ln(1 - P_{V_R}) \qquad (C.3.2.1)$$

Per il sito in esame, i periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica sono:

Valori di progetto	
Stati limite di esercizio - SLE	SLO – P_{VR} = 81%
	SLD – P_{VR} = 63%
Stati limite ultimi - SLU	SLV – P_{VR} = 10%
	SLC – P_{VR} = 5%

ove:

- *SLO = Stato Limite di Operatività*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed intenzioni d'uso significativi;
- *SLD = Stato Limite di Danno*: a seguito del sisma la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature;
- *SLV = Stato Limite di salvaguardia della Vita*: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- *SLC = Stato Limite di prevenzione del Collasso*: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Gli SLE sono attinenti a deformazioni del terreno dovute al peso proprio o a forze esterne, senza considerare le condizioni di sollecitazione a rottura; gli SLU si riferiscono invece a condizioni poste immediatamente prima della rottura ultima del terreno per flusso plastico, senza considerare gli effetti deformativi.

Introducendo il periodo fondamentale di struttura T_1 ed il fattore di struttura q, che devono essere forniti dal Progettista e/o Ing. strutturista responsabile, si potranno ricavare gli *spettri di progetto Sd(T)*. Per costruzioni civili o industriali che non superano i 40 m di altezza e con massa uniformemente distribuita, il periodo del modo di vibrare principale, in assenza di calcoli più dettagliati, può essere stimato con la seguente relazione:

$$T_1 = c_1 \cdot H^{3/4} \text{ (analisi lineare statica)}$$

ove:

- H = altezza della costruzione, in metri, dal piano di fondazione;
- c_1 = coefficiente pari a 0.085 per costruzioni con struttura a telaio in acciaio, 0.075 per costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato, 0.050 per costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura.

Gli spettri di progetto che devono essere utilizzati per gli Stati Limite, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, sono gli spettri elastici corrispondenti riferiti alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerato.

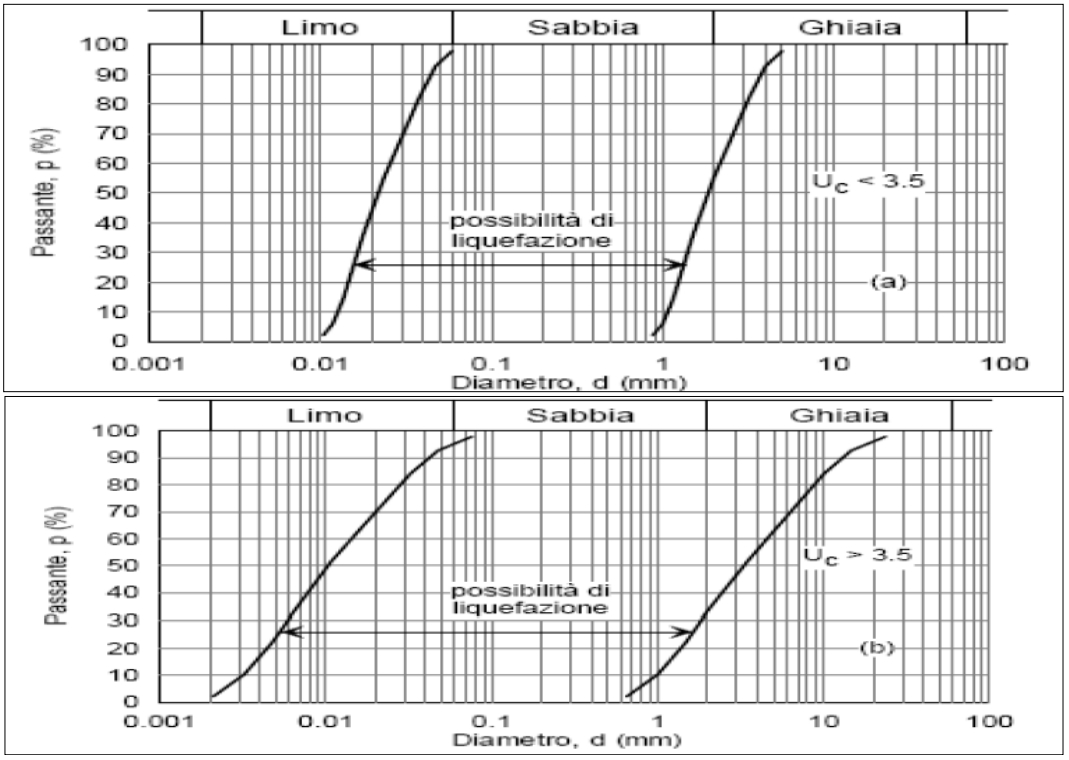
5.3. Analisi della suscettibilità a liquefazione

Per liquefazione di un terreno si intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio, con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. I fenomeni di liquefazione interessano in genere depositi non coesivi saturi e dipendono principalmente da:

- proprietà geotecniche dei terreni,
- caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata,
- genesi e storia geologica dei terreni,
- profondità della falda.

Nell'ambito della verifica dell'esistenza del rischio di liquefazione dei terreni di fondazione, l'adempimento necessario in presenza di terreni spiccatamente granulari sotto falda è in ragione della prescrizione di cui alle NTC 2018 e alla Circolare del C.S.LL.PP. n. 617/2009. Facendo riferimento ai criteri di esclusione delle NTC, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti quattro circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna (Ag_{max}), in assenza di manufatti (condizioni di campo libero), minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura seguente in caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 e in caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5.



Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione: il parametro Uc - coefficiente di uniformità - è dato dal rapporto D60/D10, ove D60 e D10 sono i diametri delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa.

Nel seguito si espone, per l'area oggetto di intervento, la valutazione delle ricorrenze di cui sopra al fine di verificare se può essere omessa o meno la verifica di liquefazione.

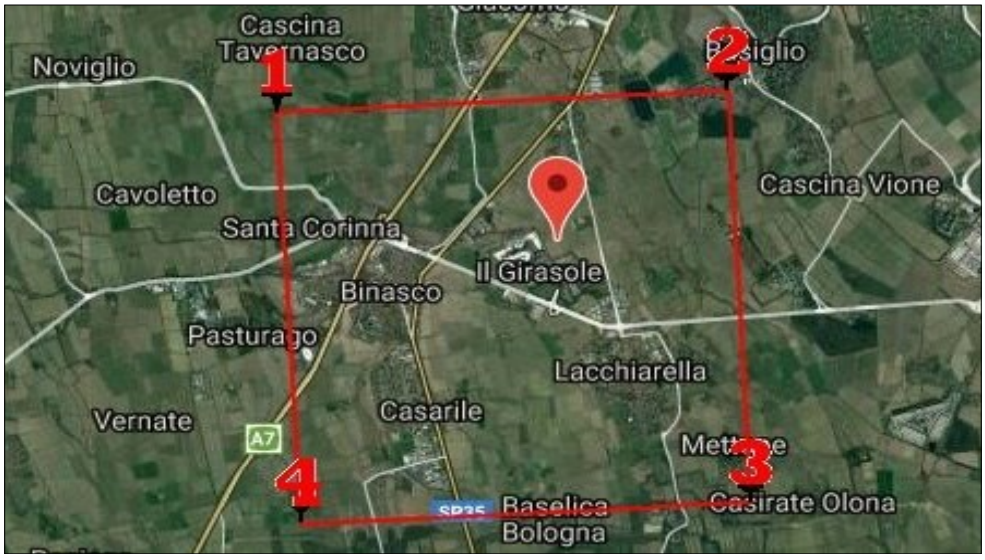
1. Accelerazioni massime attese

Al fine della caratterizzazione delle azioni sismiche di cui alla normativa e della definizione delle forme spettrali in base ai parametri correlati al reticolo di riferimento, le coordinate del sito in oggetto (coordinate geografiche decimali) sono le seguenti (la sigla ED50 si riferisce all'ellissoide di riferimento adottato per la carta di pericolosità dell'INGV, ovvero il sistema di coordinate del reticolo sismico di riferimento European Datum 1950):

- Longitudine: λ_{ED50} 9,126951°
- Latitudine: ϕ_{ED50} 45,338519°

Nodi di riferimento del reticolo:

- vertice 1 - Lat: 45,3543 Lon: 9,0825 Distanza: 3889,541
- vertice 2 - Lat: 45,3569 Lon: 9,1535 Distanza: 2913,616
- vertice 3 - Lat: 45,3070 Lon: 9,1572 Distanza: 4232,904
- vertice 4 - Lat: 45,3044 Lon: 9,0863 Distanza: 4950,574



Vertici della maglia di appartenenza (nodi del reticolo intorno al sito).

Utilizzando gli Stati Limite di riferimento ed una categoria di sottosuolo di tipo C si ottengono, per l'area d'intervento, i valori dei parametri ag, Fo, Tc* per i periodi di ritorno Tr associati a ciascuno Stato Limite. Detti valori, riportati nella tabella seguente, sono stati determinati utilizzando sia il metodo della "*media ponderata*" (definito dalle NTC) sia quello della "*superficie rigata*" (esposto nella Circolare del 2009); per il sito in esame, si sono ottenuti valori pressoché coincidenti.

I parametri Ag, Fo e Tc* di cui sopra definiscono le forme spettrali:

- ag = accelerazione orizzontale massima al sito (m/s^2);
- Fo = valore max. del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (-);
- Tc* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (sec).

Kh e Kv sono i coefficienti sismici orizzonte e verticale, che dipendono da vari fattori:

$$Kh = \beta \cdot (a_{max} / g)$$
$$Kv = \pm 0{,}5 \cdot Kh$$

ove:

- β = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- g = accelerazione di gravità = 9,80665.

Stato Limite	Probabilità di superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,019	2,554	0,166
Danno (SLD)	63	50	0,025	2,560	0,194
Salvaguardia vita (SLV)	10	475	0,052	2,618	0,281
Prevenzione collasso (SLC)	5	975	0,064	2,648	0,297
Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50					

Valori dei parametri sismici a_g, Fo, T_C* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno Stato Limite.

Stato Limite	Ss	Cc	St	Kh	Kv	A_{max} [m/s²]
Operatività SLO	1,500	1,900	1,000	0,006	0,003	0,284
Danno SLD	1,500	1,800	1,000	0,007	0,004	0,363
Salvaguardia vita SLV	1,500	1,600	1,000	0,016	0,008	**0,767**
Prevenz. collasso SLC	1,500	1,570	1,000	0,019	0,010	0,935

Coefficienti Sismici (tipo di elaborazione: stabilità dei pendii e fondazioni).

Generalmente il potenziale di liquefazione è estremamente basso o nullo per *accelerazioni massime SLV al p.c. minori di 0,1 g = 0,980 m/s²*, pertanto i valori calcolati di accelerazioni massime attese, per le condizioni imposte, consentono di escludere il rischio di liquefazione.

2. Profondità media stagionale della falda

Juan e Elton nel 1991 hanno valutato la suscettibilità alla liquefazione SL di un sito in funzione della soggiacenza della falda SF:

- SL molto alta SF < 1,5 m
- SL alta 1,5 m < SF < 3,0 m
- SL media 3,0 m < SF < 6,0 m
- SL bassa 6,0 m < SF < 10,0 m
- SL molto bassa 10,0 m < SF < 15,0 m
- SL nulla SF > 15,0 m

La distanza della superficie piezometrica dal p.c. attuale risulta, nell'area di intervento, a una profondità compresa tra -1,1 e -1,4 metri. Il potenziale di liquefazione è nullo per una profondità media della falda superiore ai 15 m dal piano campagna, pertanto il valore di profondità della falda, per le condizioni imposte, non consente di escludere il rischio di liquefazione.

3. Resistenza meccanica del terreno di fondazione

La resistenza meccanica del terreno di fondazione è stata calcolata sulla base delle risultanze delle prove geotecniche in foro SPT. Dal parametro N_{SPT}, una volta normalizzato alla pressione di 100 Kpa, si ottiene il parametro $(N_1)_{60\,C\,S}$, funzione del contenuto di FC:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} * C_N * C_E * C_B * C_R * C_S$$

Diametro perforazione (mm)	101
γ (g/cm^3)	1,8
Profondità prova (cm)	600
s_{vo} (kg/cm^2)	1,08
s'_{vo} (kg/cm^2)	0,67
Profondità falda (cm)	190
γ_{H2O} (g/cm^3)	1
Pressione neutra (kg/cm^2)	0,41
N_{SPT}	15
C_N (Liao & Whitmann, 1968)	1,23366944 < 1,7 (verificato)
Percentuale di fine FC (%)	9,2
d_{50}	0,7
C_E	1
C_B	1
C_R	0,95
C_S	1
$(N_1)_{60}$	**17,78 – strato liquefacibile**

Diametro perforazione (mm)	101
γ (g/cm^3)	1,8
Profondità prova (cm)	1200
s_{vo} (kg/cm^2)	2,16
s'_{vo} (kg/cm^2)	1,15
Profondità falda (cm)	190
γ_{H2O} (g/cm^3)	1
Pressione neutra (kg/cm^2)	1,01
N_{SPT}	21
C_N (Liao & Whitmann, 1968)	0,94164518 < 1,7 (verificato)
Percentuale di fine FC (%)	9,2
d_{50}	0,58
C_E	1
C_B	1
C_R	0,95
C_S	1
$(N_1)_{60}$	**19,92 – strato liquefacibile**

Diametro perforazione (mm)	101
γ (g/cm^3)	1,8
Profondità prova (cm)	1500
s_{vo} (kg/cm^2)	2,7
s'_{vo} (kg/cm^2)	1,39
Profondità falda (cm)	190
γ_{H2O} (g/cm^3)	1
Pressione neutra (kg/cm^2)	1,31
N_{SPT}	25
C_N (Liao & Whitmann, 1968)	0,85650284 < 1,7 (verificato)
Percentuale di fine FC (%)	9,2
d_{50}	0,32
C_E	1
C_B	1
C_R	1
C_S	1
$(N_1)_{60}$	**21,52 - potenziale di liquefazione basso**

In genere, il potenziale di liquefazione è estremamente basso per resistenze comprese tra 20 e 30, nullo per resistenze $(N_1)_{60} > 30$.

4. Distribuzione granulometrica dei terreni di fondazione

Analizzando la distribuzione granulometrica valida per Uc > 3,5 (v. Paragrafo 3.2.8. e certificati in ***Appendice 4***), si nota come i terreni non siano al di fuori del fuso sensibile. Le posizioni delle curve granulometriche nell'ambito del fuso di riferimento normativo, pertanto, non consentono di escludere il rischio di liquefazione.

Alla luce di quanto indicato, considerando le verifiche esposte relative ai 4 parametri analizzati e la possibilità di escludere l'esistenza del rischio di liquefazione per le circostanze relative alle accelerazioni massime, si ritiene possano essere esclusi incipienti fenomeni di liquefazione nell'intorno dell'area investigata. Inoltre, i terreni con $Vs_{30} > 250$ m/s non sono suscettibili alla liquefazione (stima fornita dal CNR), e il valore di Vs calcolato per i terreni in esame è pari a 256-259 m/s (sottosuolo di categoria C).

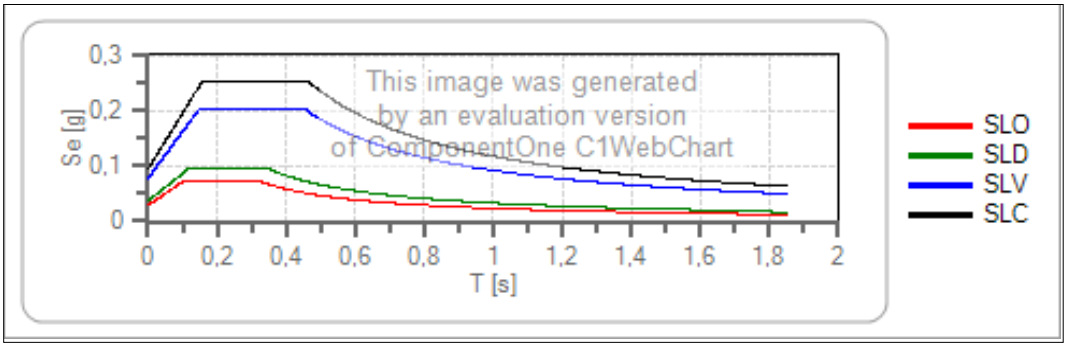
5.4. Spettri di risposta elastici

Ipotizzando la strategia di progettazione descritta ai paragrafi precedenti, si è calcolato il taglio sismico o *Vsd* in funzione dell'ordinata dello spettro di progetto ai periodi fondamentali della struttura:

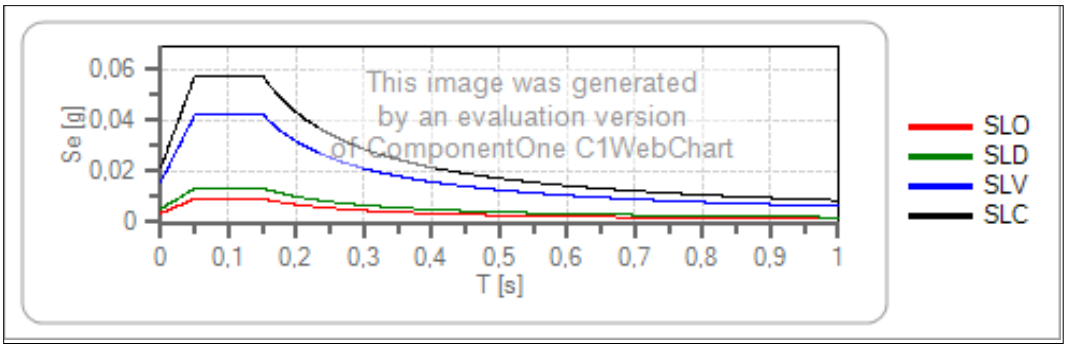
$$Vsd = Sd(T1)*Nd$$

Da qui si sono ricavati gli spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite.

Si riportano nel seguito gli spettri in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali, calcolati per un coefficiente di smorzamento viscoso pari al 5%.



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali.



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali.

5.5. Verifica sismica di 2° livello

Secondo quanto previsto dal p.to 2.2 dell'Allegato 5 alla D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011, in fase di pianificazione, in Zona sismica 3 nelle aree urbanizzate ed urbanizzabili, bisogna applicare l'analisi sismica di 2° livello. La procedura consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione Fa. Il valore di Fa si riferisce ai due intervalli di periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale, intervalli rispettivamente compresi tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s; in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

La procedura di 2° livello implica l'analisi, ai fini della valutazione dell'amplificazione locale, di effetti di diverso tipo (topografici e litologici) e fornisce, per gli effetti litologici, valori di Fa per entrambi gli intervalli di periodo considerati.

Nel caso in esame i suoli sismici definiti in base alla Vs_{eq} (nel caso specifico coincidenti con il valore di Vs30, ovvero le velocità medie delle Vs tra 0 e 30 m di profondità) risultano di tipo C, in quanto sono comprese tra 256 e 259 m/s (v. il precedente paragrafo 3.2.4.).

Nel caso dell'area in esame si è così proceduto:
- scelta dello scenario corrispondente a suoli di tipo C corrispondenti alla scheda litologica "*effetti litologici – scheda litologia sabbiosa*" (comportamento granulare, struttura granulo-sostenuta, clasti con D_{max} > 20 cm inferiori al 15%, frazione ghiaiosa inferiore al 25%, frazione limosa fino ad un massimo del 70%);
- scelta della curva di correlazione T/Fa sulla base delle caratteristiche dello strato superficiale: *curva 2*;
- calcolo del periodo proprio di sito;
- calcolo del valore di Fa per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s in funzione del valore del periodo proprio calcolato e della curva scelta;
- confronto del valore di Fa calcolato dalle curve di correlazione ed il valore di soglia comunale (variabilità di 0,1).

Per il Comune di Lacchiarella, i valori regionali di soglia Fa dei suoli sismici di categoria C sono:
- periodo tra 0.1-0.5 = 1,9
- periodo tra 0.5-1.5 = 2,4

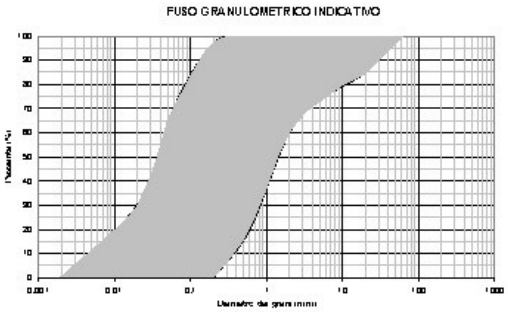
Le verifiche dei Fattori di Amplificazione effettuati per l'area in studio e nei termini esposti in precedenza nel testo, con periodo proprio di sito **T = 0.43** (tratto polinomiale della curva), hanno evidenziato i seguenti valori calcolati di Fa:
- periodo tra 0.1-0.5 = 1,56
- periodo tra 0.5-1.5 = 1,72

Nella prospettiva della progettazione e della realizzazione degli interventi in oggetto, sulla base dei risultati di quanto sopra, per entrambi i periodi 0.1-0.5 e 0.5-1.5 la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito, quindi si applicherebbero gli spettri di norma caratteristici della categoria di sottosuolo C. Non è richiesta l'attuazione di un 3° livello di approfondimento tramite indagini e analisi più approfondite.

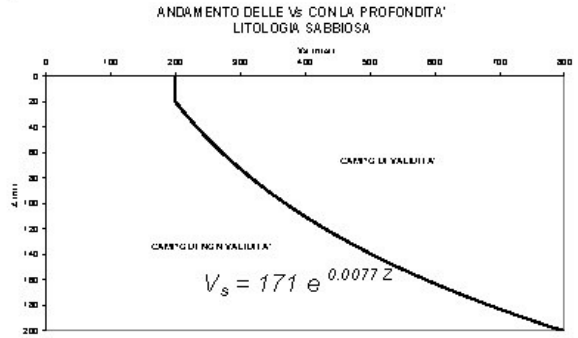
EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

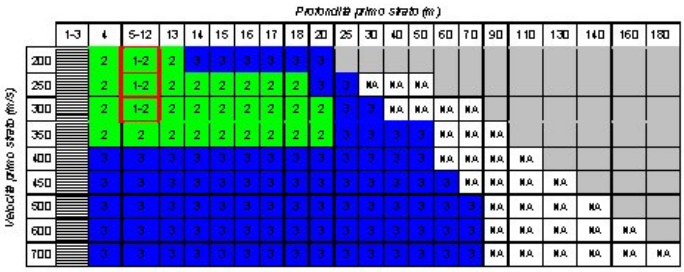
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:
Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie



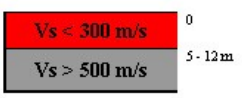
NOTE:
Comportamento granulare
Struttura granulo-sostenuta
Clasti con D_{max} > 20 cm inferiori al 15%
Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
Frazione limosa fino ad un massimo del 70%

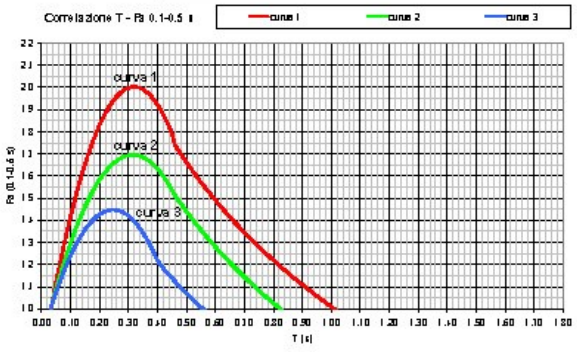


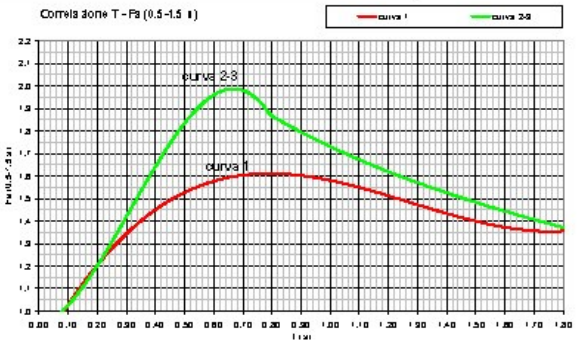


ove
la sigla NA indica *Fa* = 1

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media Vs minore o uguale a 300 m/s poggiante su strato con velocità maggiore di 500 m/s







Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	0.03 ≤ T ≤ 0.50	0.50 < T ≤ 1.00	T > 1.00
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.21\ T^2 + 7.79\ T + 0.76$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	0.03 ≤ T ≤ 0.45	0.45 < T ≤ 0.80	T > 0.80
	$Fa_{0.1-0.5} = -8.65\ T^2 + 5.44\ T + 0.84$	$Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	0.03 ≤ T ≤ 0.40	0.50 < T ≤ 0.55	T > 0.55
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.68\ T^2 + 4.77\ T + 0.86$	$Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Curva		
1	0.08 ≤ T ≤ 1.80	
	$Fa_{0.5-1.5} = 0.57\ T^3 - 2.18\ T^2 + 2.38\ T + 0.81$	
2 3	0.08 ≤ T < 0.80	0.80 ≤ T ≤ 1.80
	$Fa_{0.5-1.5} = -6.11\ T^3 + 5.79\ T^2 + 0.44\ T + 0.93$	$Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

6.1. Analisi e valutazioni

Il comparto in esame ricade, per quasi la sua totalità, nella Classe di fattibilità geologica 3, con consistenti limitazioni all'edificazione (v. p.to 3.1 della D.G.R. 2616/2011); il tipo di limitazioni riscontrate (v. p.to 3.2 della citata D.G.R.) sono riconducibili alla vulnerabilità idrogeologica del sito (bassa soggiacenza della falda, che si attesta a profondità inferiori a 1,5 m dal piano campagna locale), pertanto si sono sviluppati i dovuti approfondimenti relativi a tale componente, nonché gli approfondimenti relativi agli aspetti geotecnici dei terreni di fondazione e agli aspetti sismici, la cui tipologia e grado sono dettagliatamente descritti nei capitoli precedenti.

All'interno del comparto in esame sono presenti anche i vincoli stabiliti dalla fascia di rispetto dei corsi d'acqua (fascia di servitù idraulica prevista in 10 m quale valore di vincolo assoluto di inedificabilità, ai sensi del R.D. 523/1904).

Da un punto di vista geologico e geomorfologico, non si segnalano fattori ostativi alla realizzazione del progetto: non si rilevano particolari evidenze morfologiche e alla scala dell'area d'intervento non sono presenti criticità, localmente non è visibile e non è in altro modo nota la presenza di fenomeni di instabilità o legati al dissesto e, in termini di precarietà dei luoghi, allo stato attuale l'area risulta assestata.

Dall'analisi del progetto in relazione alle caratteristiche morfologiche e idrogeologiche del territorio, non sono emersi, nello scenario di attuazione degli interventi, problemi legati all'incompatibilità degli stessi con la tutela idrogeologica del territorio e la realizzazione degli interventi non modifica l'attuale equilibrio geomorfologico dell'area.

Per quanto concerne la piezometria dell'area, in corso di esecuzione delle prove penetrometriche è stata rilevata la presenza della falda freatica a profondità comprese tra -0,9 e -2,2 m rispetto all'attuale p.c. Le valutazioni condotte su scala stagionale e pluriennale portano a ritenere che innalzamenti della falda siano prevedibili in relazione agli andamenti stagionali della stessa (falda risalente verso il p.c. nel periodo estivo) e/o in relazione ai dati storici. Il livello di soggiacenza risente infatti dell'andamento della piezometria regionale, ma soprattutto (in tempi brevi) dell'infiltrazione superficiale in caso di precipitazioni.

Sulla base delle evidenze fornite dalle indagini eseguite e dei dati acquisiti in precedenza in zone limitrofe e/o su terreni assimilabili, sono state ricavate indicazioni circa le caratteristiche geomeccaniche dei terreni. Considerando la media delle varie resistenze con la profondità, il livello litotecnico superficiale presenta un grado di addensamento molto sciolto. Il primo sottosuolo è caratterizzato prevalentemente da terreni sabbioso-limosi e limoso-argillosi con scadenti caratteristiche geotecniche e angolo di attrito efficace di 24°. In profondità le proprietà geotecniche dei terreni tendono a migliorare progressivamente.

L'indagine sismica ha permesso di valutare i fenomeni di amplificazione attraverso la procedura semplificata basata sulla definizione della categoria di sottosuolo C di cui al punto 3.2.2 delle NTC 2018. La prova MASW non ha rilevato la presenza di inversioni di velocità significative.

L'analisi sismica di secondo livello è stata effettuata come previsto dalla D.G.R. IX/2616/2011, all. 5, p.to 2.2 per le aree PSL Z4a: a seguito della verifica condotta il fattore di amplificazione sismica

calcolato (F_{ac}) è risultato inferiore alla soglia comunale (F_{as}), pertanto è assicurata la compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito (utilizzo della categoria di sottosuolo C corrispondente a Vs_{eq} = 256-259 m/sec).

In relazione alla componente sismica di base, inoltre, sono stati ricavati gli elementi di base utili al calcolo dell'azione sismica; introducendo il periodo fondamentale di struttura T1 ed il fattore di struttura q, il Progettista e/o Ing. Strutturista responsabile potrà ricavare gli spettri di progetto.

I fenomeni di amplificazione sismica di tipo topografico sono stati valutati attraverso la procedura semplificata basata sulla definizione della categoria topografica T1 mediante analisi morfologica di dettaglio.

La sicurezza nei confronti del fenomeno della liquefazione ha evidenziato l'assenza di fattori scatenanti e/o predisponenti, ovvero il sito è stabile.

Per gli interventi in oggetto, sulla base di quanto sopra (v. §§ precedenti), si è verificata la compatibilità del progetto con la destinazione urbanistica prevista dal PGT vigente e, valutato il quadro progettuale ricostruito in base a quanto fornito ad oggi dal Committente, si ritiene assicurata la compatibilità geologica-geomorfologica e idrogeologica dell'area con la tipologia delle opere in progetto.

6.2. Prospettive

Relativamente alla fase di attuazione degli interventi, nel corso della realizzazione delle opere si dovrà avere cura di rispettare le prescrizioni nel seguito fornite, che riguardano in particolare gli aspetti di maggior rilevanza corrispondenti al rischio idrogeologico e al piano delle fondazioni (definizione dei cedimenti ammissibili e interventi migliorativi), sulla base dei quali sarà compito del Progettista effettuare le dovute valutazioni degli elementi a disposizione e richiedere eventuali approfondimenti d'indagine.

Gli interventi dovranno essere dimensionati tenendo conto della presenza e della sottospinta idraulica corrispondente alla situazione di falda acquifera a ca. 1.0-1.5 m dal p.c. Alla luce delle considerazioni svolte, non sembra verosimile considerare ad oggi una quota di posa significativamente inferiore a quella del piano campagna. Per la tutela degli acquiferi sotterranei, inoltre, dovrà essere prevista una corretta gestione del cantiere al fine di evitare la percolazione nel sottosuolo di acque inquinate.

La problematica geotecnica è essenzialmente riconducibile all'ammissibilità dei carichi di progetto e a quella dei cedimenti, che deve essere valutata in funzione delle caratteristiche delle strutture che si poseranno e del rischio di cedimenti differenziali. Sulla base delle valutazioni svolte, si dovrà procedere alla scelta della soluzione definitiva per ciò che concerne le fondazioni: ad oggi, sembra verosimile che si debba ricorrere a fondazioni profonde di tipo indirette quali i pali battuti.

La definizione delle quote / profondità di posa delle strutture dovrà considerare la necessità di prevedere la realizzazione di adeguati sottofondi, in alternativa ai quali potrà eventualmente essere presa in considerazione la progettazione di interventi migliorativi di stabilizzazione dei terreni di fondazione.

La stabilizzazione delle terre con calce, metodo alternativo a quelli più tradizionali di sbancamento e sostituzione dei terreni, consentirebbe l'utilizzo di materiali limosi o sabbiosi non considerati idonei per la formazione di piani di posa in genere attraverso il solo trattamento in sito del materiale medesimo, trattamento che consentirebbe la stabilizzazione nel tempo del materiale lavorato rendendolo insensibile alle azioni dell'acqua (sotto il profilo volumetrico) e alle azioni del gelo-disgelo al fine di sostenere i carichi di progetto, prevenendo deformazioni e cedimenti non ammissibili.

Prima di dare inizio alle lavorazioni di cantiere, si renderebbe necessario effettuare uno studio preliminare di laboratorio al fine di definire la formulazione ottimale delle miscele da utilizzare attraverso:

- identificazione granulometrica del terreno;
- determinazione caratteristiche geotecniche dello stesso;
- studio di miscele sperimentali;
- realizzazione di un campo di prova per la verifica in scala reale dei dati di laboratorio;
- scelta dell'opportuno legante (es. calce) e sue percentuali da utilizzare.

Successivamente si procederebbe alla fase attuativa con eventuale irrorazione dei terreni in relazione al tasso d'umidità presente al momento sullo spessore dello strato da trattare, seguita dalla stesa del legante, dalla immediata miscelazione dello stesso al terreno e dal successivo costipamento, operazioni che dovrebbero essere effettuate mediante impiego di appositi macchinari (stabilizzatrice, spandi-calce a dosaggio digitale, rulli a piastre vibranti e rulli gommati di peso adeguato).

Tali operazioni offrirebbero quantomeno i seguenti vantaggi:

- riduzione dei volumi da sbancare e movimentare e delle aree di stoccaggio da occupare;

- immediatamente a seguito della lavorazione sarà possibile effettuare transiti di carichi pesanti;
- eventuale recupero di materiali limo-argillosi presenti in sito;
- netta separazione tra gli strati trattati e strati sottostanti senza utilizzo di geotessili;
- incremento dell'indice CBR (portanza dei terreni), riduzione dei cedimenti stimati, incremento della resistenza all'erosione e all'azione del gelo/disgelo;
- tempi (brevi) di esecuzione e certa riduzione dei costi di intervento sui piani di posa.

Ad oggi non sono ancora disponibili informazioni tecniche di natura strutturale; una volta definiti i carichi allo SLU e allo SLE, sarà necessario effettuare tutte le verifiche richieste dalla normativa vigente (D.M. 17/01/2018), che dovranno essere finalizzate al corretto dimensionamento delle fondazioni. Allo stato attuale, si ritiene che il progettista delle strutture possa fare ampio ed esaustivo riferimento, per le relative verifiche di calcolo, al Modello Geotecnico del sottosuolo e relativi parametri geotecnici precedentemente indicati e proposti.

In sede di stesura del Progetto Esecutivo, sarà compito del Progettista e/o Ing. strutturista responsabile decidere il dimensionamento più adatto delle fondazioni in base al carico strutturale esistente su ciascuna fondazione. Sulla base delle scelte progettuali effettuate e in particolare in merito alle condizioni di carico previste, tenuto conto che per la progettazione delle opere le NTC-18 riguardano unicamente gli aspetti connessi alla sicurezza strutturale, il Progettista dovrà indicare i dati prestazionali dell'opera relativi alle azioni di progetto da considerare e necessari ai fini delle verifiche della sicurezza e delle prestazioni geotecniche, comprendenti nello specifico quantomeno:

- *peso proprio della struttura (carico permanente G1, in kN);*
- *peso proprio non strutturale (carico accidentale G2, in kN - es. pesi di impianti e macchinari, cose e oggetti disposti sulla struttura, ecc.);*
- *eventuali carichi variabili (Q1).*

Ad essi dovrà essere aggiunto il carico max. neve, che per l'area in oggetto è pari a 1,50 kN/m², ove il valore espresso in kN/m², associato ad un periodo di ritorno pari a 50 anni, è equivalente all'altezza in metri (in Lombardia varia da 1 a 9,7).

Nel momento in cui andranno effettuati i calcoli di verifica geotecnica sarà necessario applicare gli opportuni coefficienti di riduzione, determinati in base al singolo approccio progettuale per ottenere il valore di progetto del parametro geotecnico considerato (come richiesto dalla normativa).

Relativamente agli aspetti urbanistici faranno riferimento norme e prescrizioni fornite dalla L.R. 12/05 art. 57 – "*Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio*" e dalle relative delibere attuative, di cui l'ultima è la D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011, nonché da quanto prescritto per il territorio comunale nell'ambito del Regolamento Edilizio e della Normativa Geologica di Attuazione.

In fase di attuazione degli interventi, fatte salve le ulteriori prescrizioni fornite dalla legislazione vigente in materia e dalle norme tecniche di settore, si forniscono le seguenti raccomandazioni:

- realizzazione di approfondimenti e supplementi di indagine, specifici per ciascun intervento edificatorio in fase attuativa (in particolare per il sottoambito H1), con la finalità di una più puntuale caratterizzazione geotecnica e idrogeologica del terreno, anche in relazione alle scelte progettuali definitive-esecutive (indagini sismiche, indagini penetrometriche, sondaggi, prove di permeabilità e quanto ritenuto necessario dal tecnico geologo incaricato);
- durante la fase di realizzazione delle opere si dovrà avere sempre cura di verificare che le ipotesi di progetto corrispondano effettivamente a quelle realizzate nel corso degli interventi;

- sarà cura dell'Impresa e della D.L., in caso di varianti in corso d'opera, l'adozione di soluzioni tecniche comunque a favore della sicurezza; sarà compito del Progettista effettuare le dovute valutazioni e richiedere eventuali approfondimenti di indagine;
- in relazione agli aspetti sismici, qualunque intervento dovrà essere progettato nel rispetto delle leggi statali e regionali vigenti in materia, di quanto richiesto dai locali regolamenti e norme tecniche, nonché dal D.M. 17/01/2018 e dalla classificazione sismica del territorio comunale.

Terre e rocce da scavo

I terreni di risulta provenienti dagli scavi in cantiere dovranno essere trattati secondo quanto previsto dal D.P.R. 13 giugno 2017, n. 120 "*Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo*".

Le "terre e rocce da scavo" sono definite nell'art. 2 comma 1, lettera c) del D.P.R. 13 giugno 2017 e riguardano il suolo escavato derivante da attività finalizzate alla realizzazione di un'opera quali:
- scavi in genere (sbancamento, fondazioni, trincee);
- perforazione, trivellazione, palificazione, consolidamento;
- opere infrastrutturali (gallerie, strade);
- rimozione e livellamento di opere in terra.

Le terre e rocce da scavo possono contenere anche i seguenti materiali: calcestruzzo, bentonite, polivinilcloruro (PVC), vetroresina, miscele cementizie e additivi per scavo meccanizzato, purché le terre e rocce contenenti tali materiali non presentino concentrazioni di inquinanti superiori ai limiti di cui alle colonne A e B, Tabella 1, Allegato 5, al Titolo V, della parte IV, del D.Lgs. 152/06 per la specifica destinazione d'uso. Risulta opportuno ricordare che, ai sensi dell'art. 3 del D.P.R., sono esplicitamente esclusi dall'ambito di applicazione i rifiuti provenienti direttamente dall'esecuzione di interventi di demolizione di edifici o di altri manufatti preesistenti, che devono essere gestiti come rifiuti.

Sarà quindi necessario, vista l'estensione dell'area in oggetto, la redazione di un Piano di Utilizzo delle terre e rocce da scavo, che prevede la definizione e la descrizione di:

- Sito di produzione:
  - Inquadramento urbanistico-territoriale;
  - Inquadramento geologico e geomorfologico;
  - Inquadramento idrogeologico;
- Caratterizzazione ambientale:
  - Definizione di un piano di indagini ambientali;
  - Prelievo di campioni in numero sufficiente per rappresentare lo stato del sito di produzione;
  - Esecuzione di analisi chimiche secondo il protocollo da normativa (Set minimo tab. 4.1. dell'Allegato 4 al D.P.R. 120/2017):
    - ✓ umidità, scheletro e setacciatura;
    - ✓ metalli: As, Cd, Co, Cr tot, Cr VI, Cd, Hg, Ni, Pb, Cu, Zn;
    - ✓ idrocarburi pesanti C > 12;
    - ✓ eventuali altri sostanze a seconda di evidenze particolari (es. IPA e BTEX se in prossimità di strade ad alta intensità di traffico);
- Sito di destino e bilancio delle terre e rocce da scavo;
- Modalità di movimentazione, trasporto e rintracciabilità dei materiali.

Se l'area di intervento, o alcune porzioni di essa, fosse destinata ad essere utilizzata come sito di destino, sarà necessario garantire la conformità delle terre e rocce da scavo con le CSC definite nelle tabelle 1A e/o 1B di cui al Titolo V dell'Allegato 5 del D.Lgs 152/2006.

Le modalità di movimentazione, trasporto e rintracciabilità delle terre e rocce da scavo prevedono una serie di adempimenti e comunicazioni alle autorità competenti che comprendono:

- prima del trasporto: comunicazione attestante le generalità della stazione appaltante, della ditta appaltatrice dei lavori, della ditta di trasporto, della ditta che riceve il materiale, il luogo di destinazione, la targa del mezzo, il sito di provenienza, data e ora del carico, quantità e tipologia del materiale trasportato;
- comunicazione di eventuali modifiche del PdU;
- compilazione Documento di Trasporto da conservare dopo il trasporto.

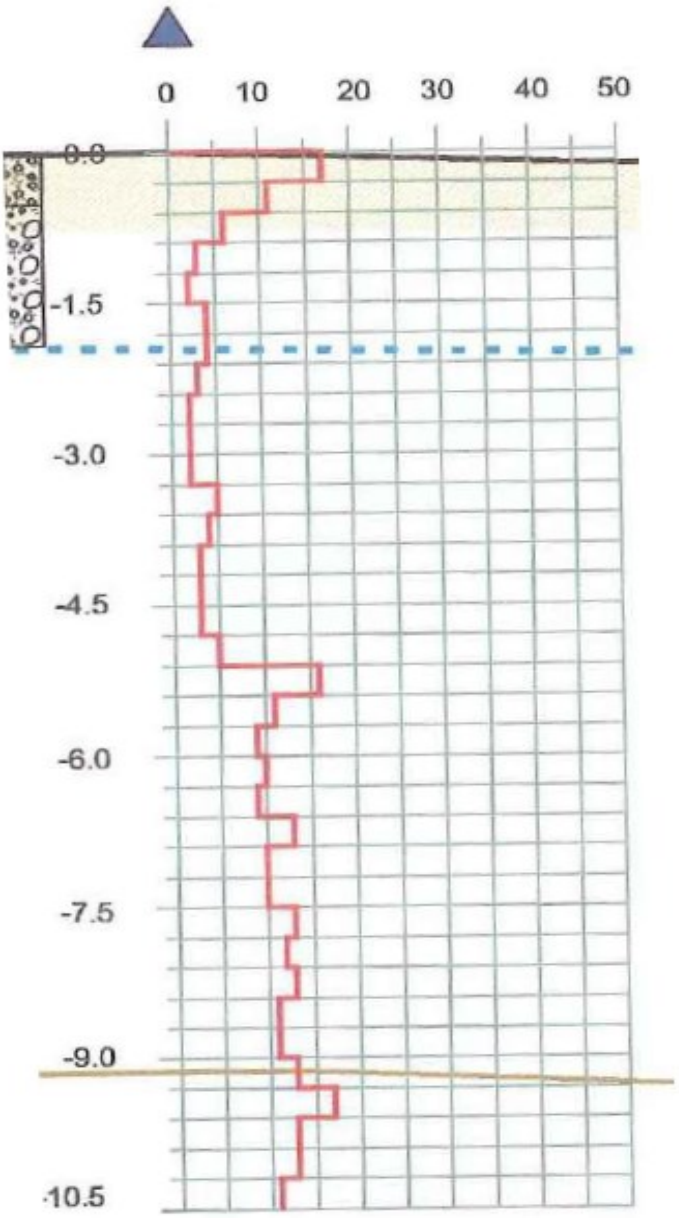
Le modalità di comunicazione e trasporto saranno specificate nel Piano di Utilizzo una volta redatto.

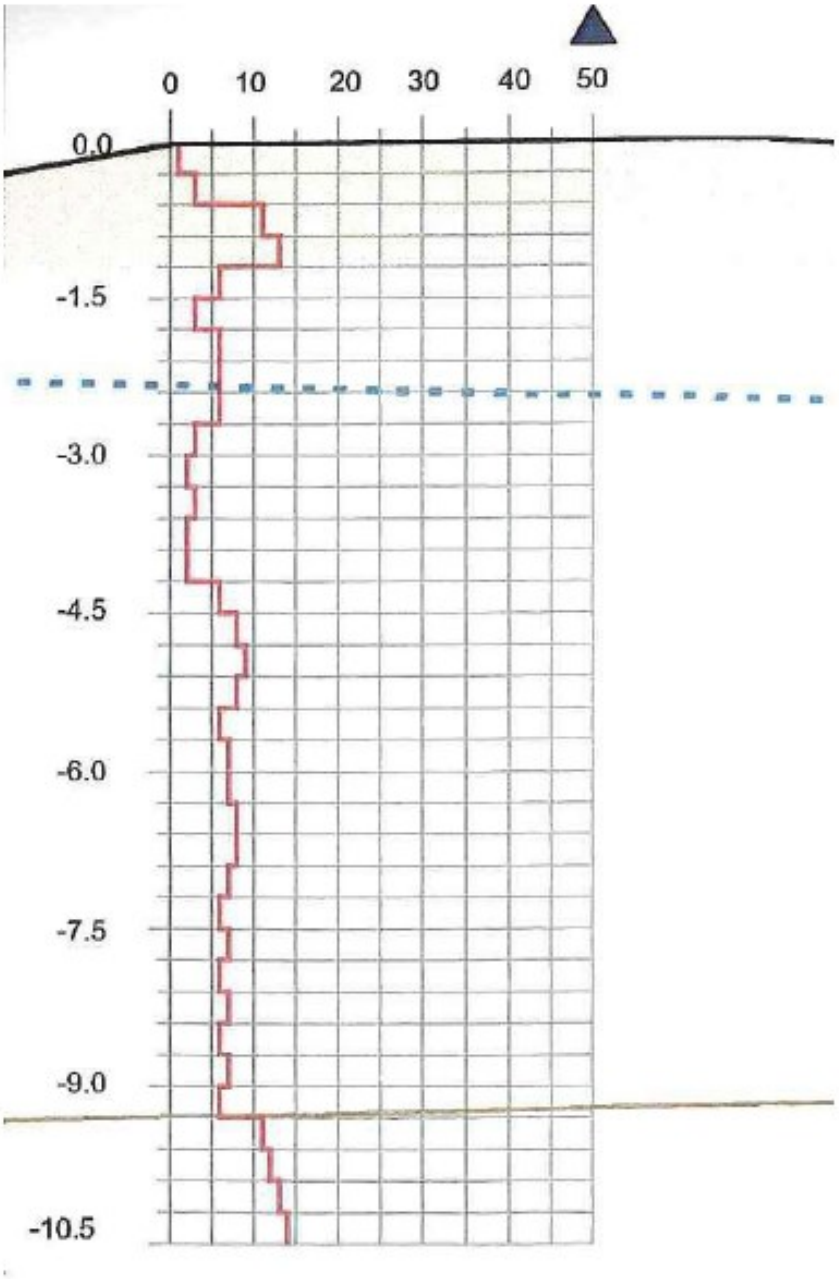
Al termine del trasporto delle terre e rocce da scavo dovrà essere resa una Dichiarazione di Avvenuto Utilizzo (DAU) da inviare a Comune del sito di produzione, al Comune del sito di destinazione e all'Arpa territorialmente competente.

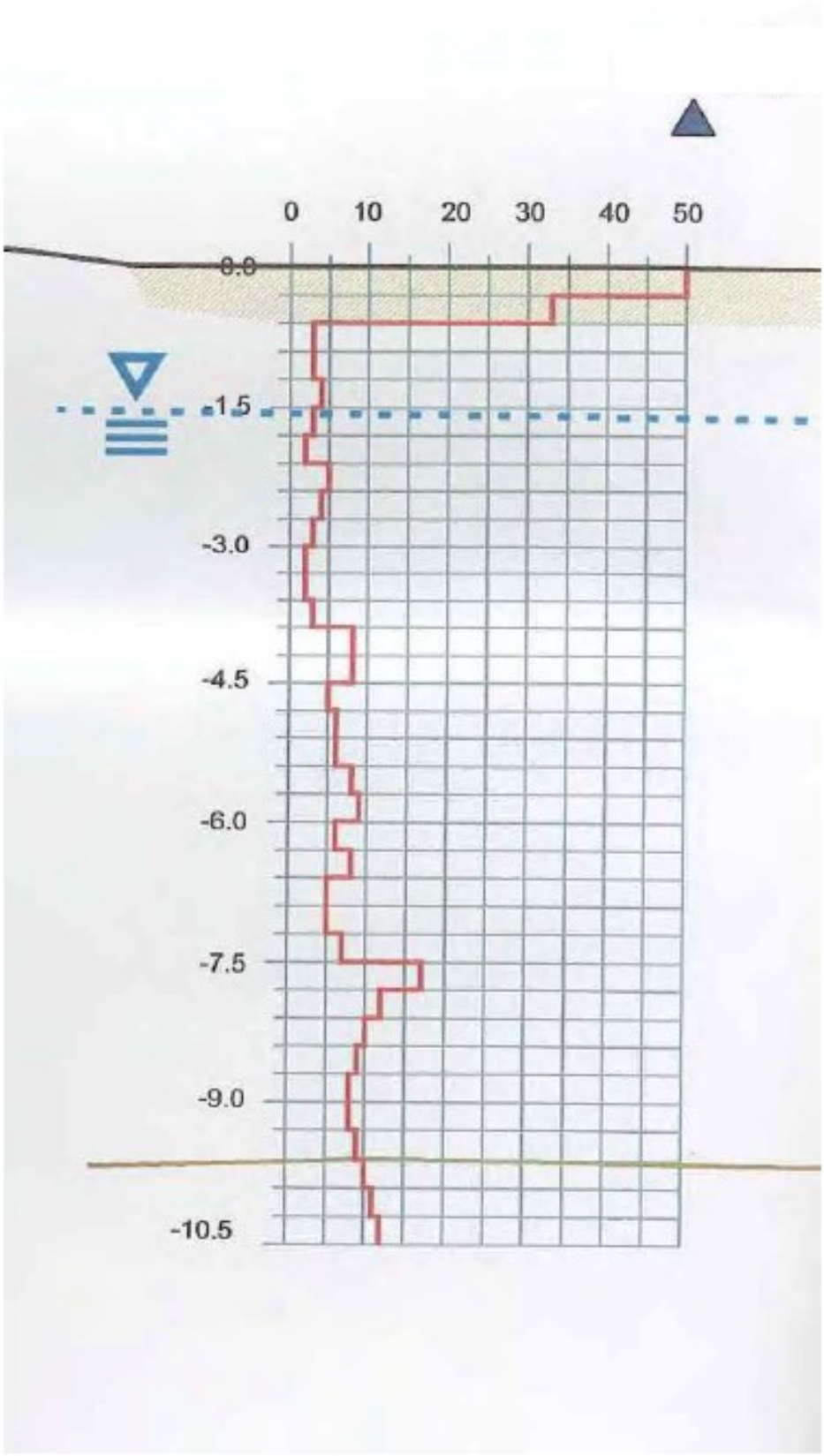
Si noti che la qualifica delle terre e rocce da scavo come sottoprodotto cessa, con effetto immediato, se la dichiarazione di avvenuto utilizzo non è resa entro il termine di validità del piano di utilizzo o della dichiarazione di cui all'articolo 21 (cfr. art. 7, comma 3). L'omessa dichiarazione di avvenuto utilizzo entro il termine previsto dalla norma comporta la cessazione, con effetto immediato, della qualifica delle terre e rocce da scavo come sottoprodotto.

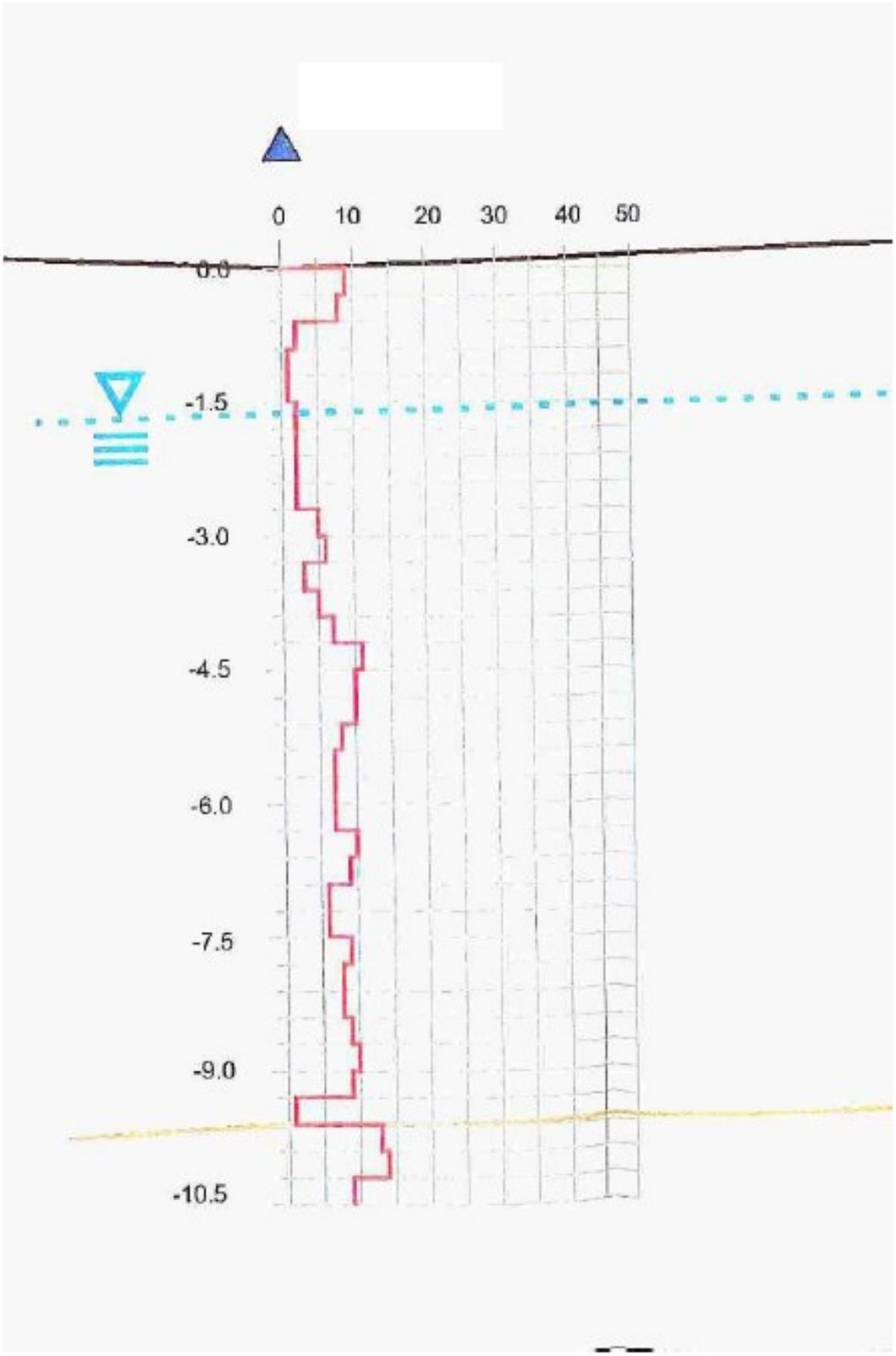
APPENDICE 1

DIAGRAMMI PROVE PENETROMETRICHE PREGRESSE

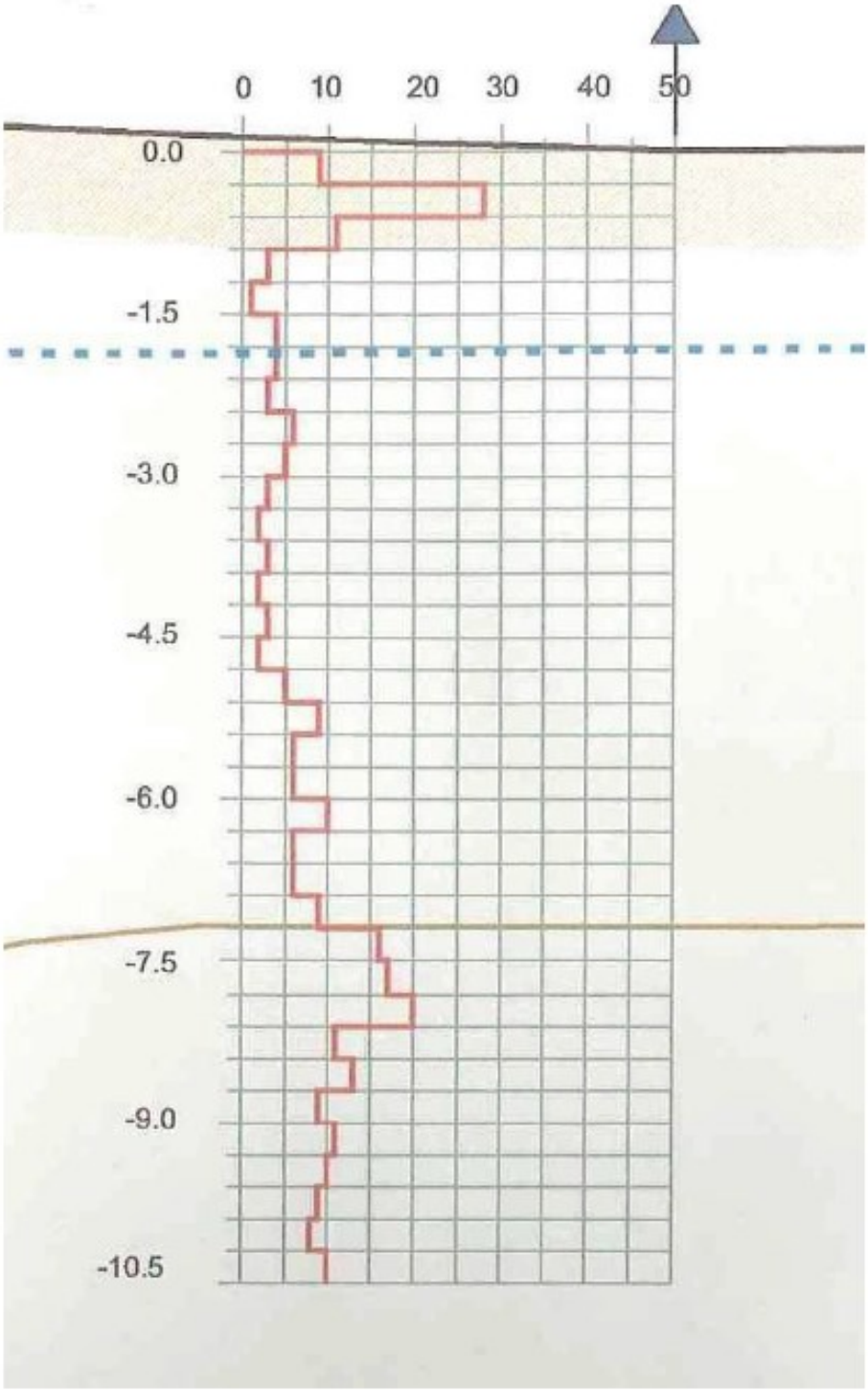

0
10
20
30
40
50
0.0
-1.5
-3.0
-4.5
-6.0
-7.5
-9.0
-10.5


0
10
20
30
40
50
0.0
-1.5
-3.0
-4.5
-6.0
-7.5
-9.0
-10.5

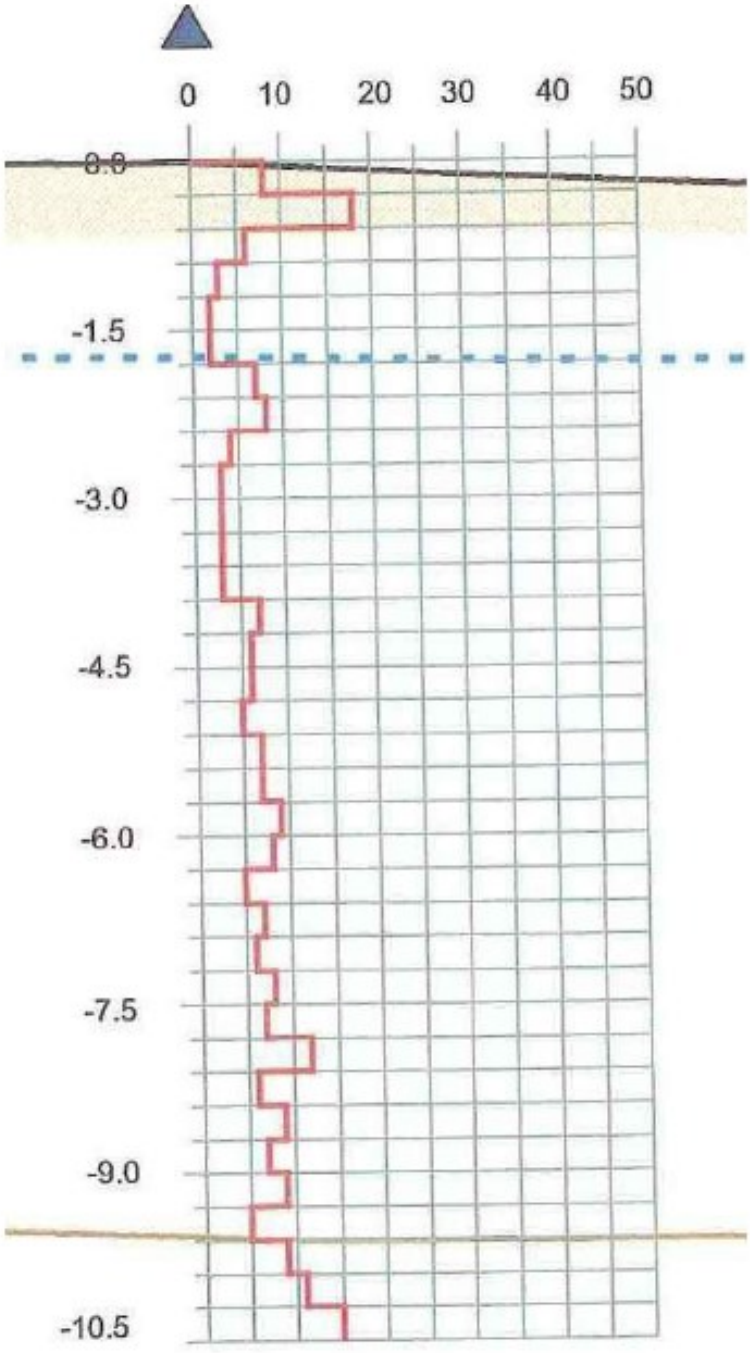

0
10
20
30
40
50
0.0
-1.5
-3.0
-4.5
-6.0
-7.5
-9.0
-10.5

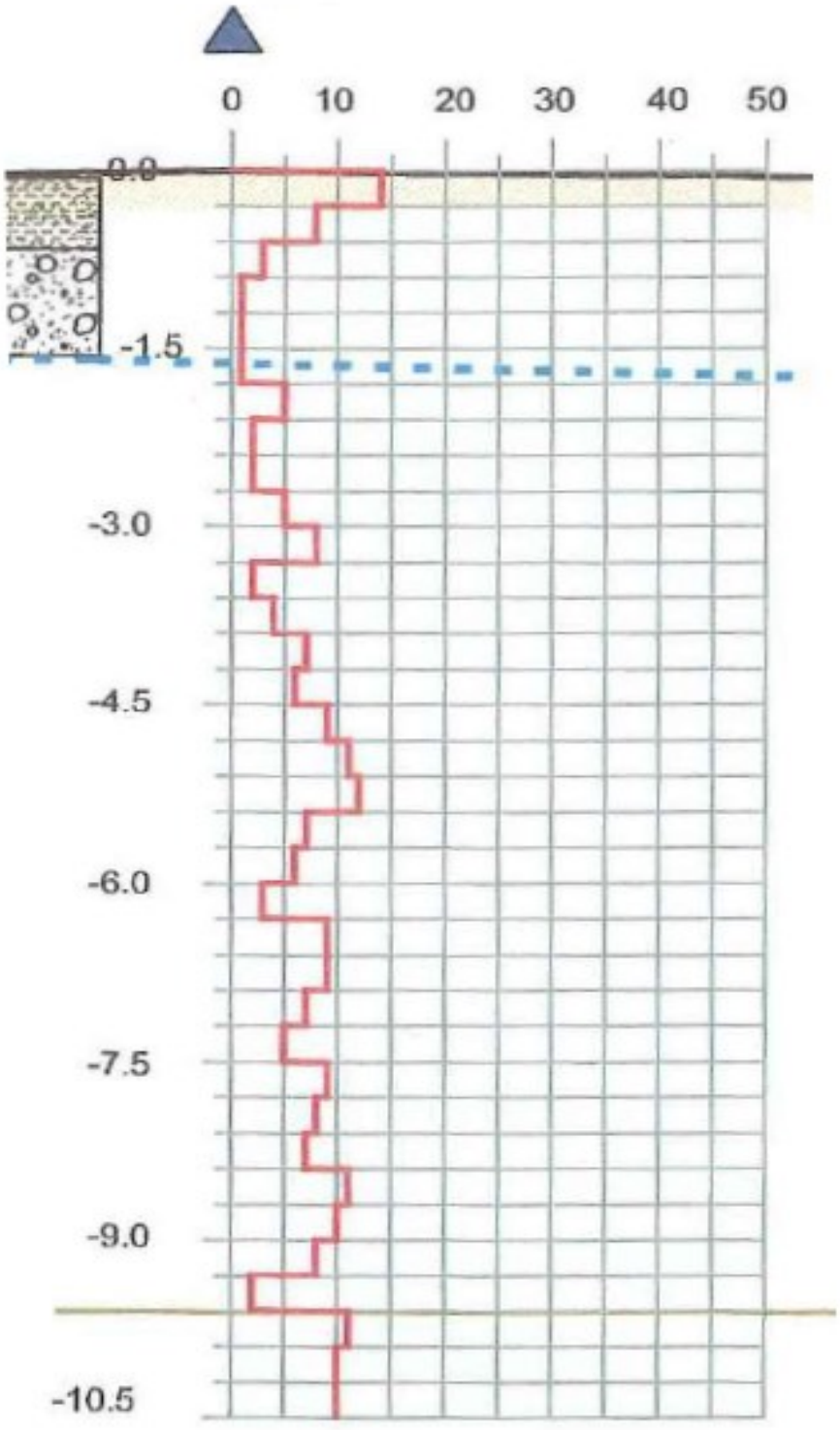

0
10
20
30
40
50
0.0
-1.5
-3.0
-4.5
-6.0
-7.5
-9.0
-10.5

SCPT5

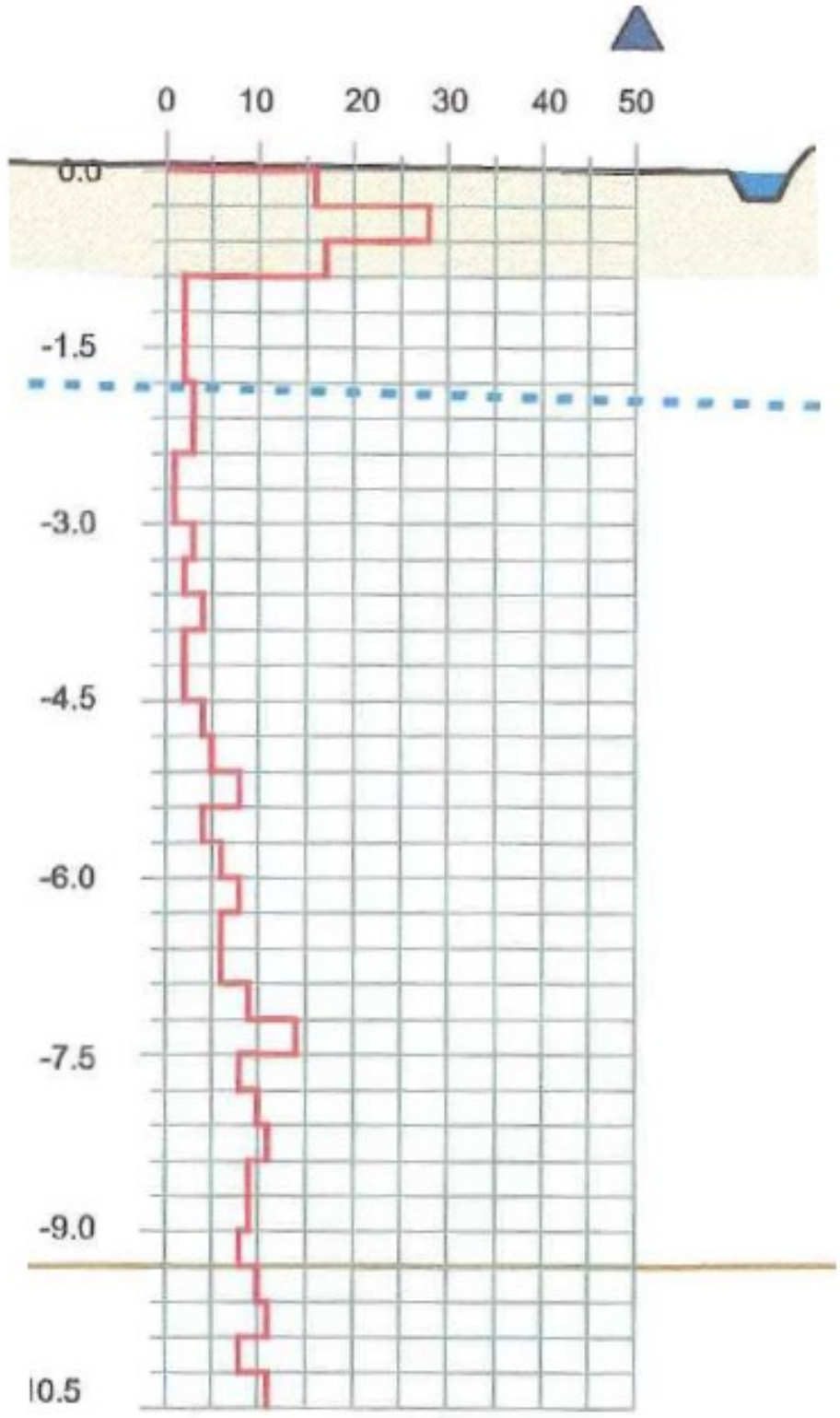


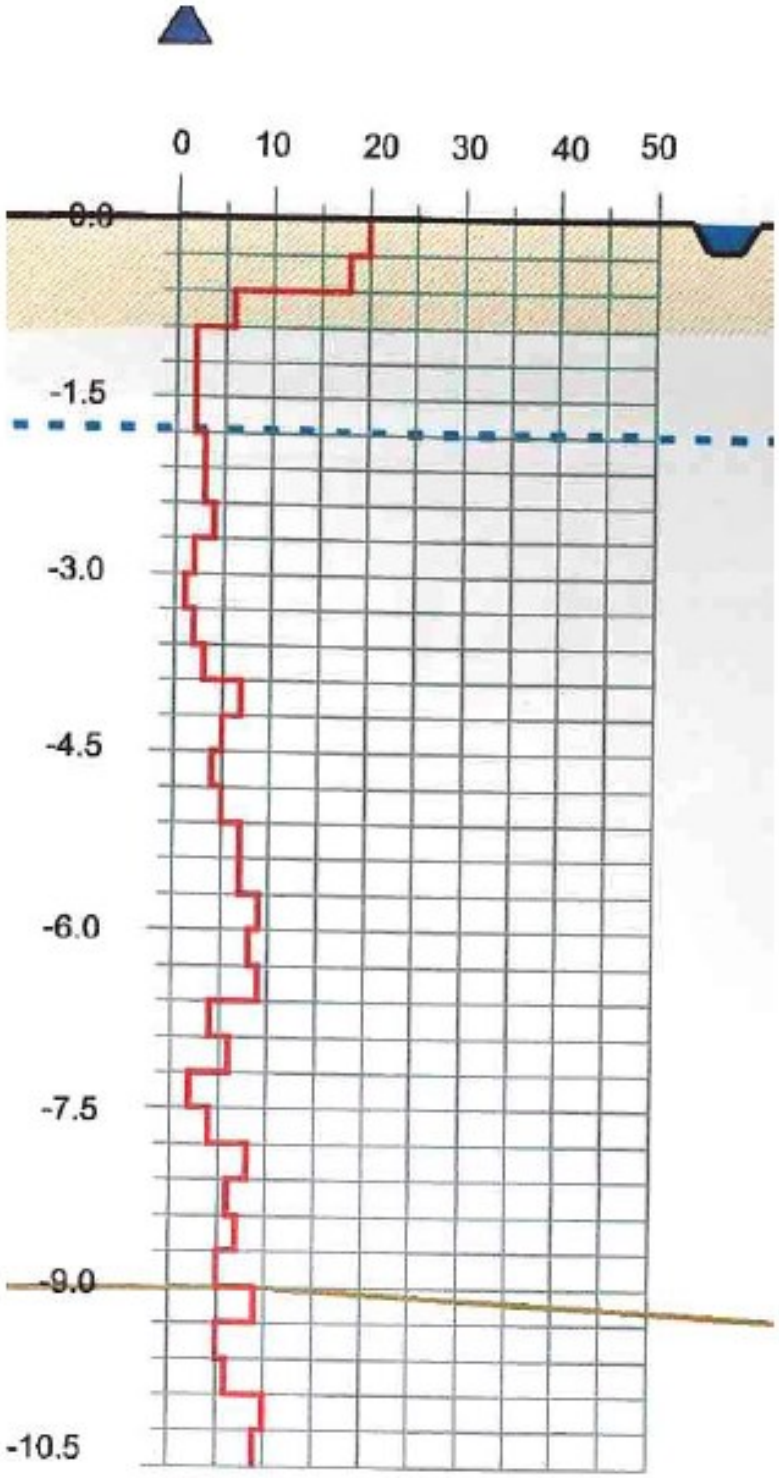
SCPT6




0
10
20
30
40
50
0.0
-1.5
-3.0
-4.5
-6.0
-7.5
-9.0
-10.5

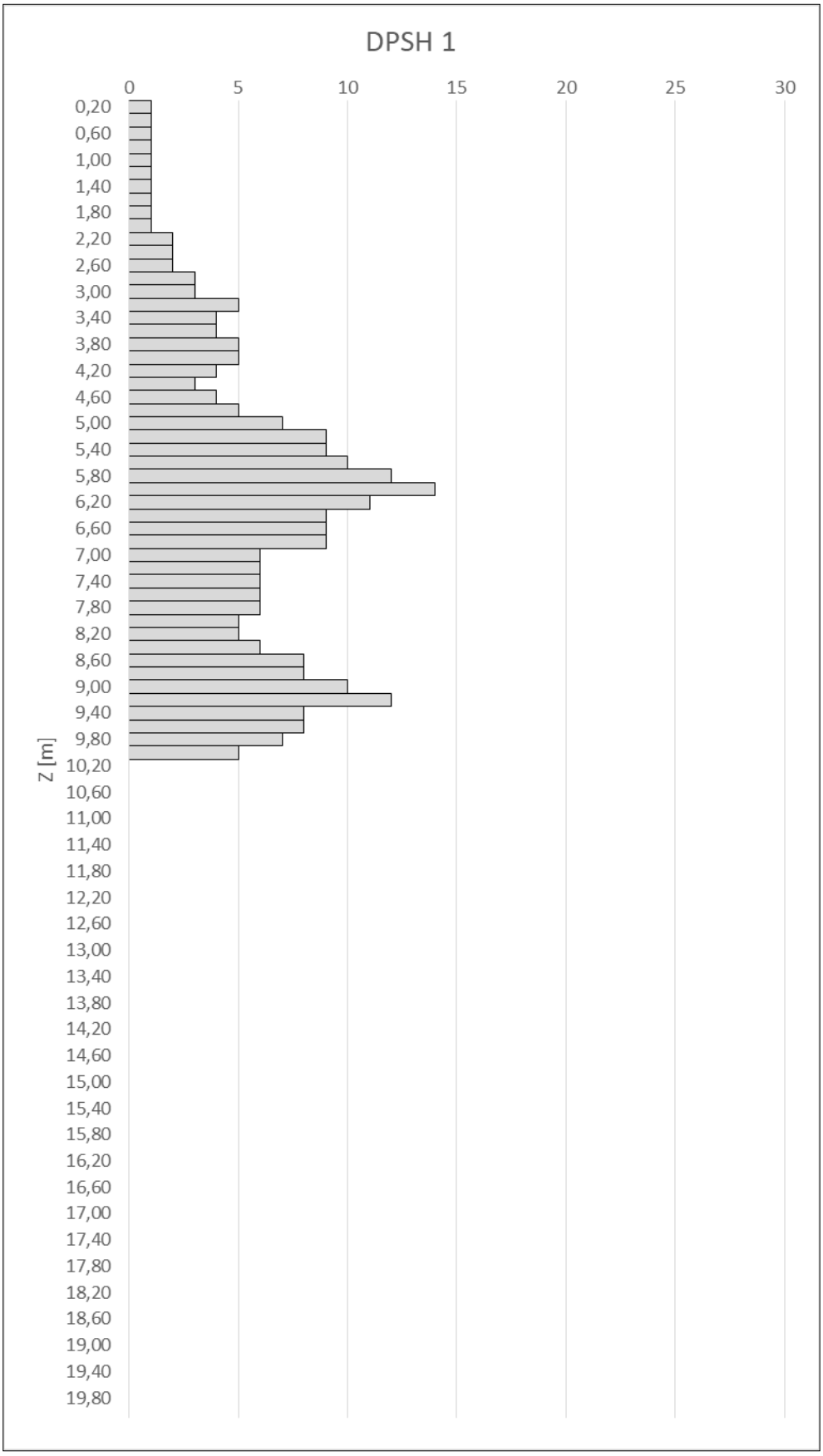
SCPT8

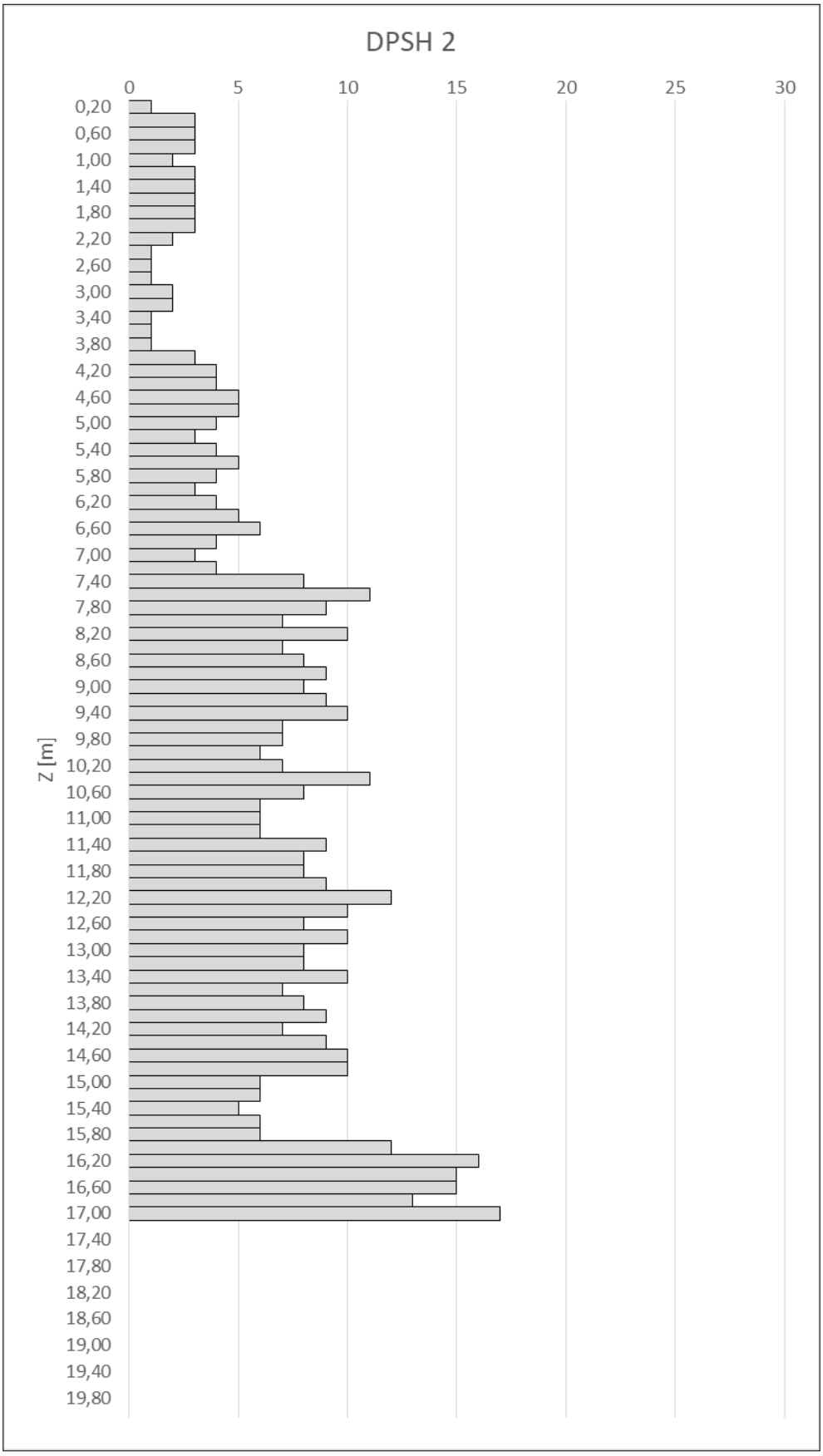


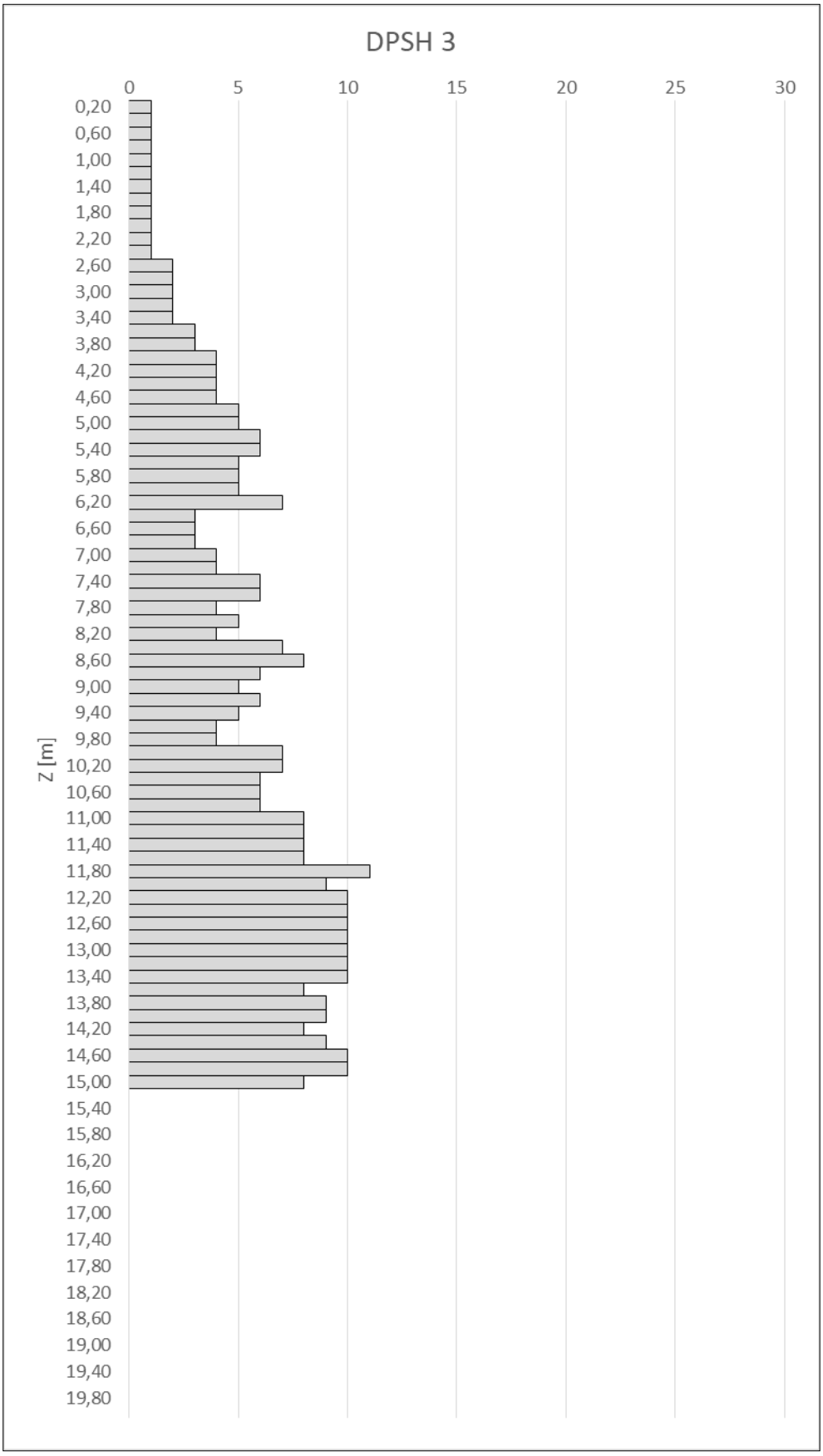

0
10
20
30
40
50
0.0
-1.5
-3.0
-4.5
-6.0
-7.5
-9.0
-10.5

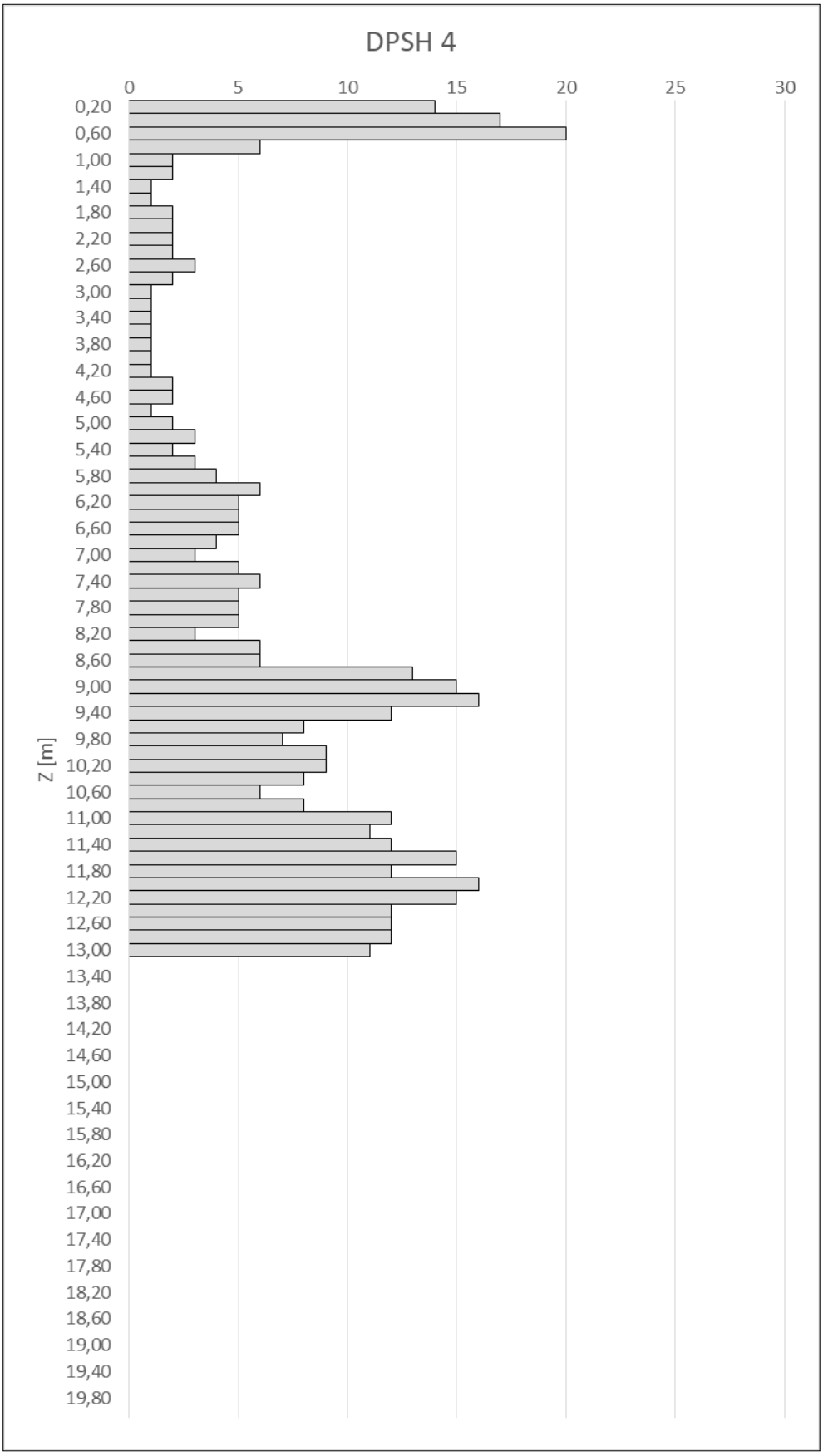
APPENDICE 2

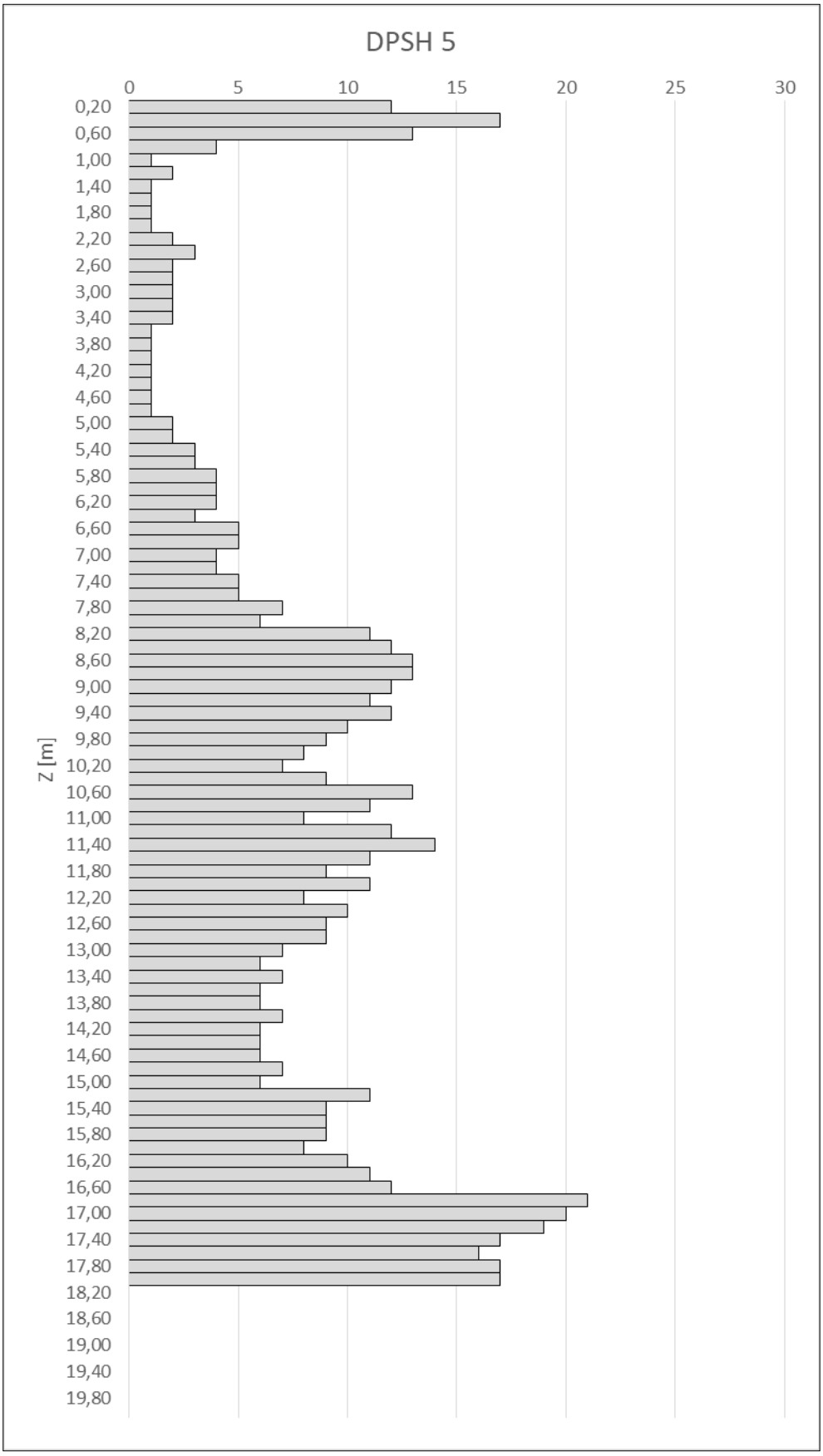
DIAGRAMMI PROVE PENETROMETRICHE EFFETTUATE

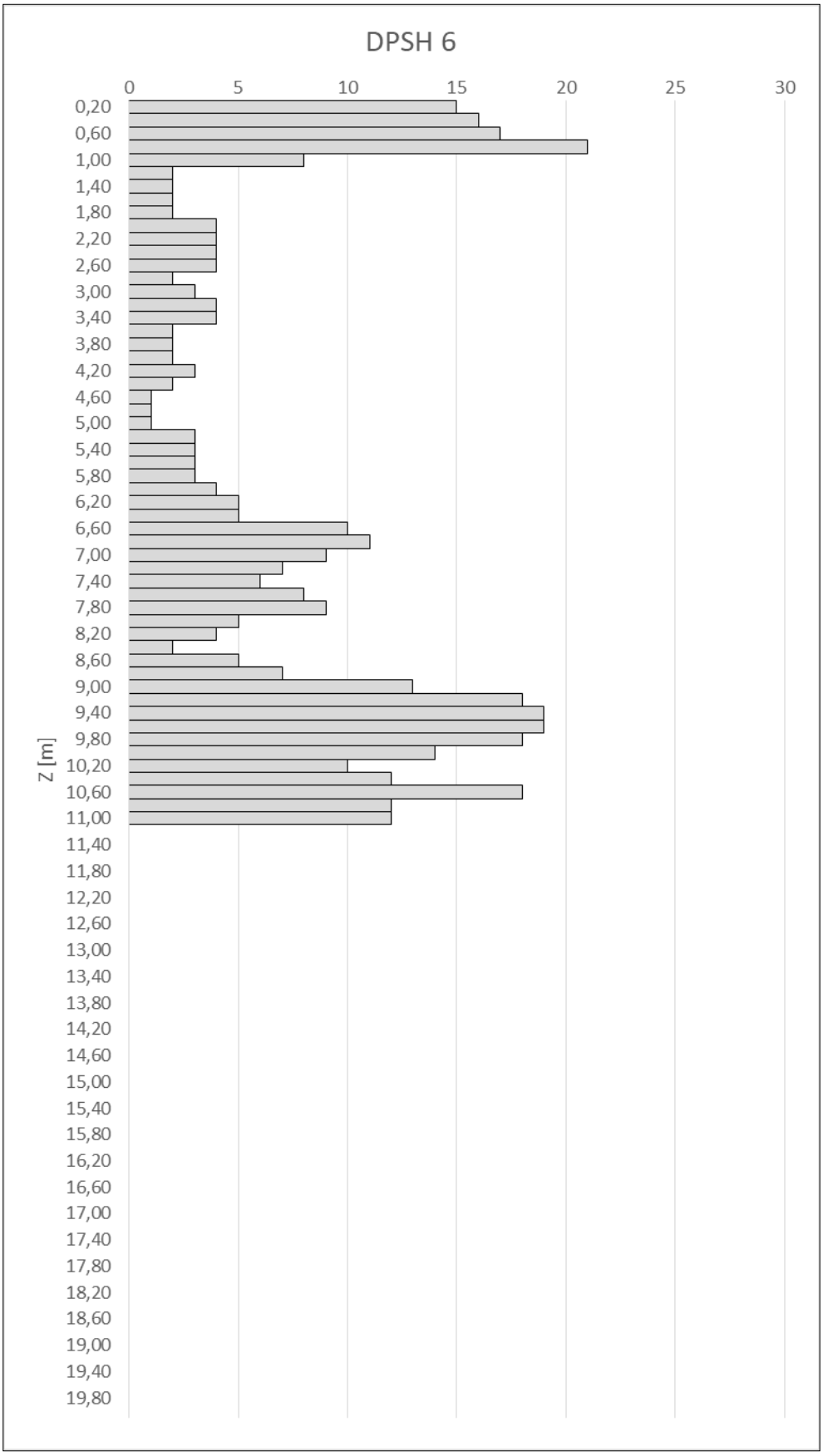

DPSH 1
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80

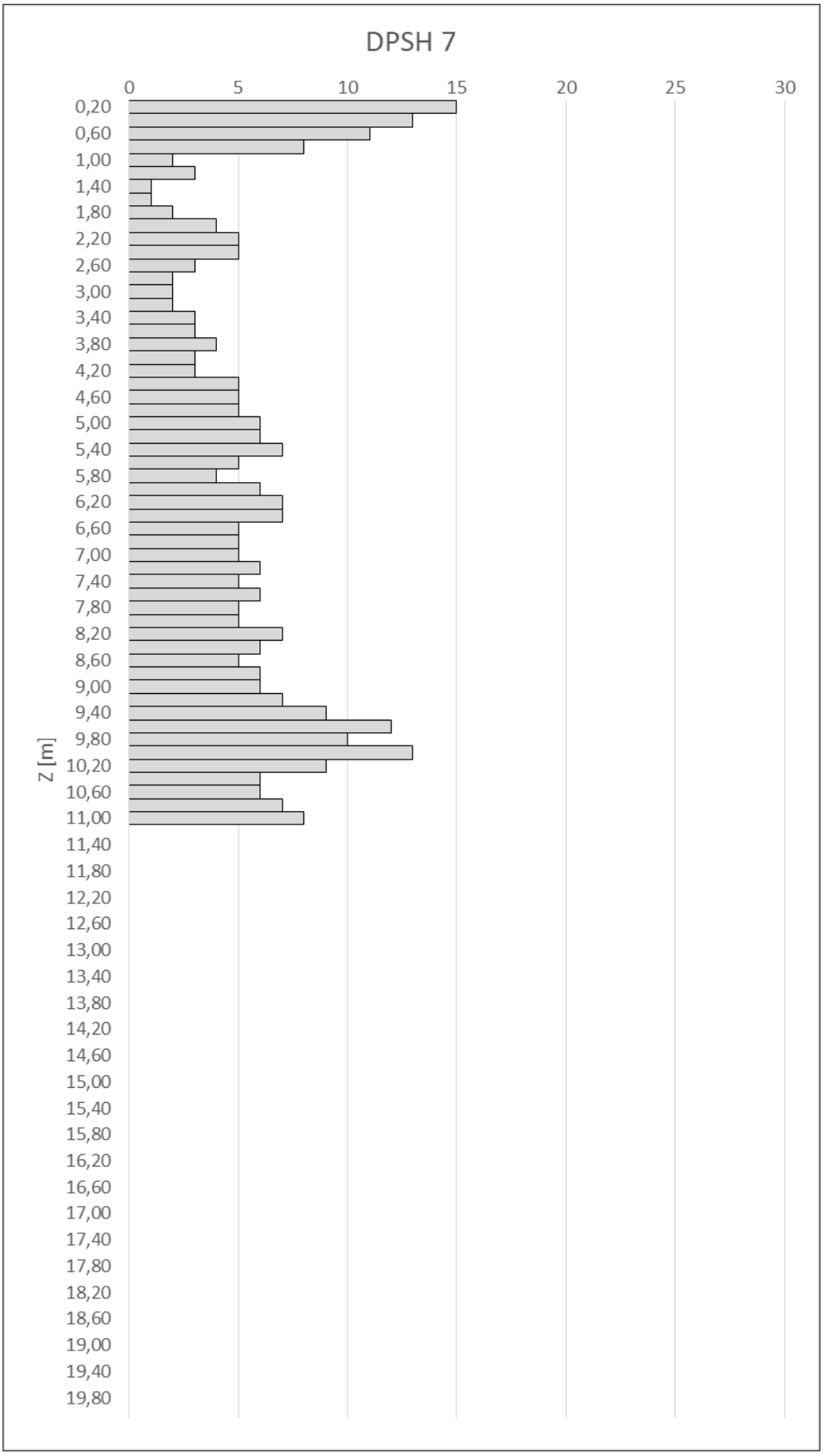

DPSH 2
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80

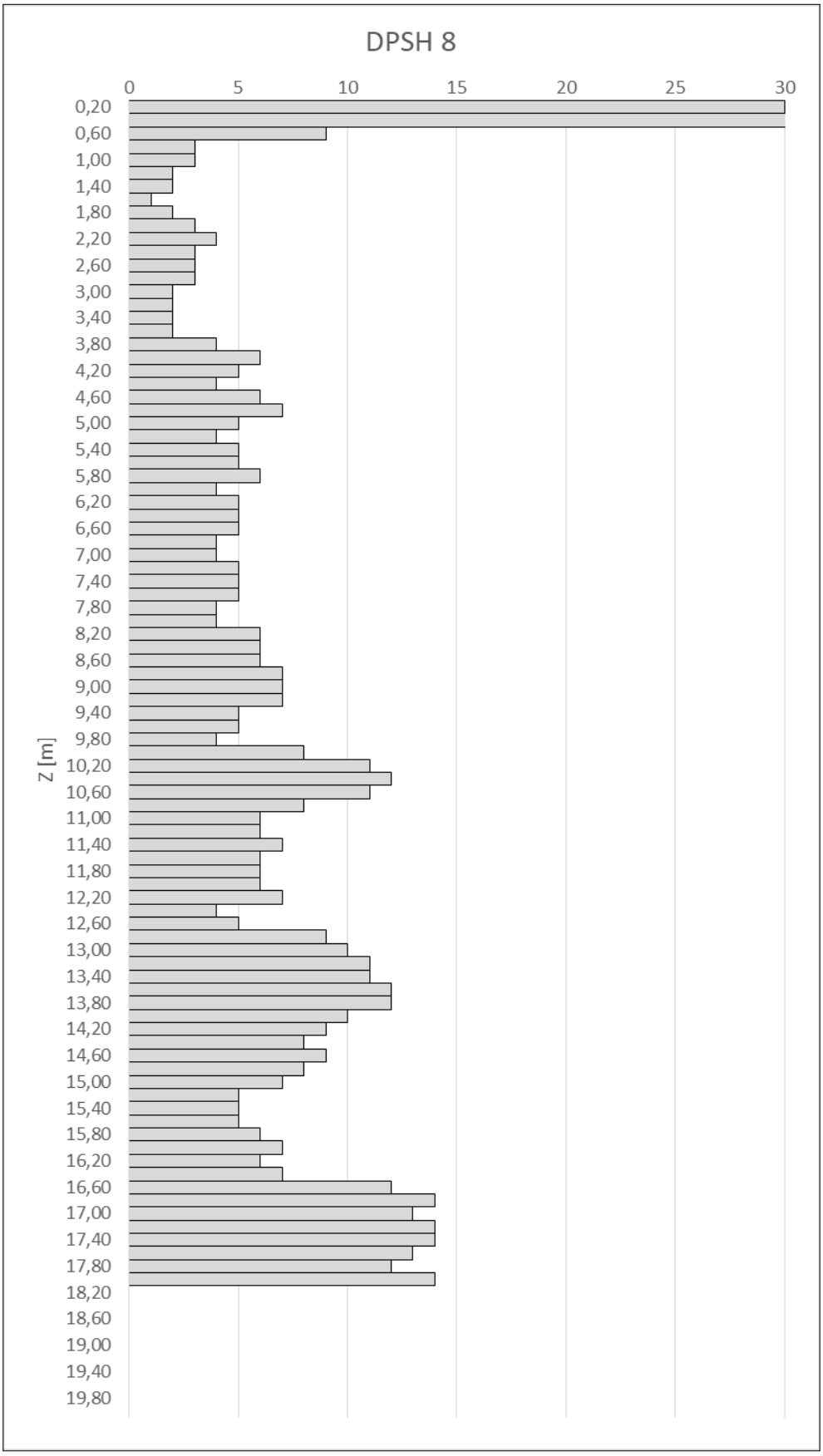

DPSH 3
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80

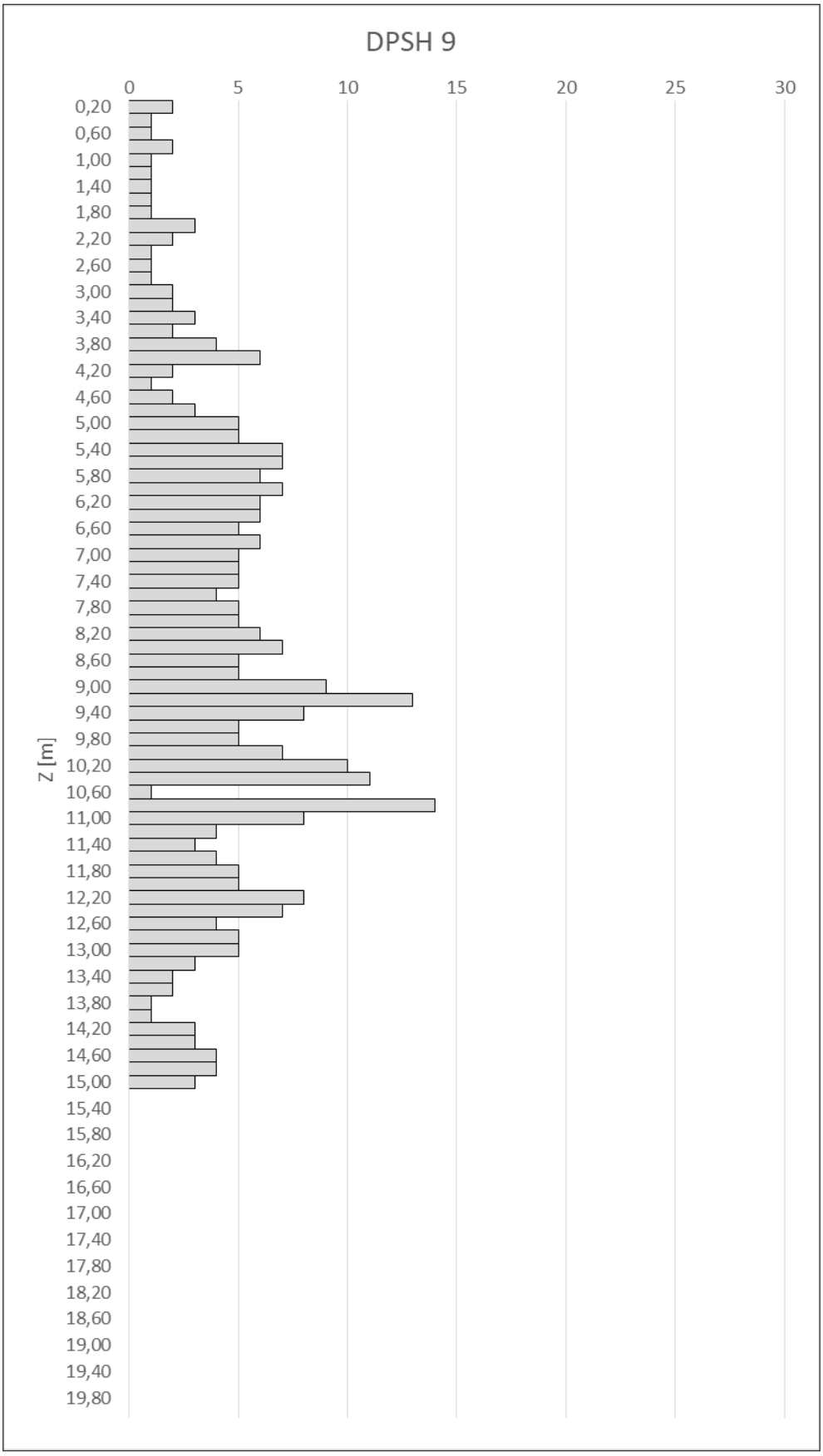

DPSH 4
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80

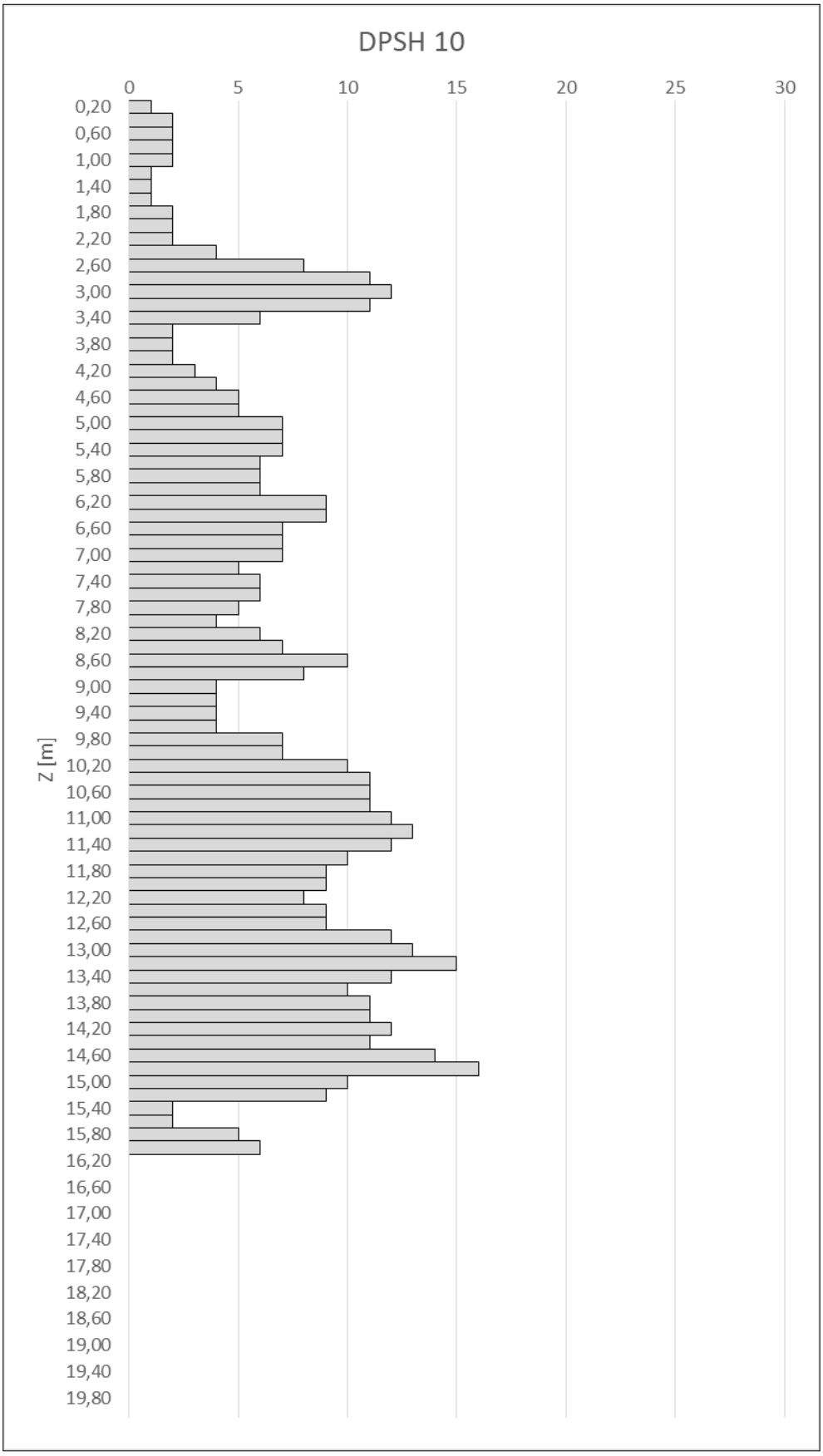

DPSH 5
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80

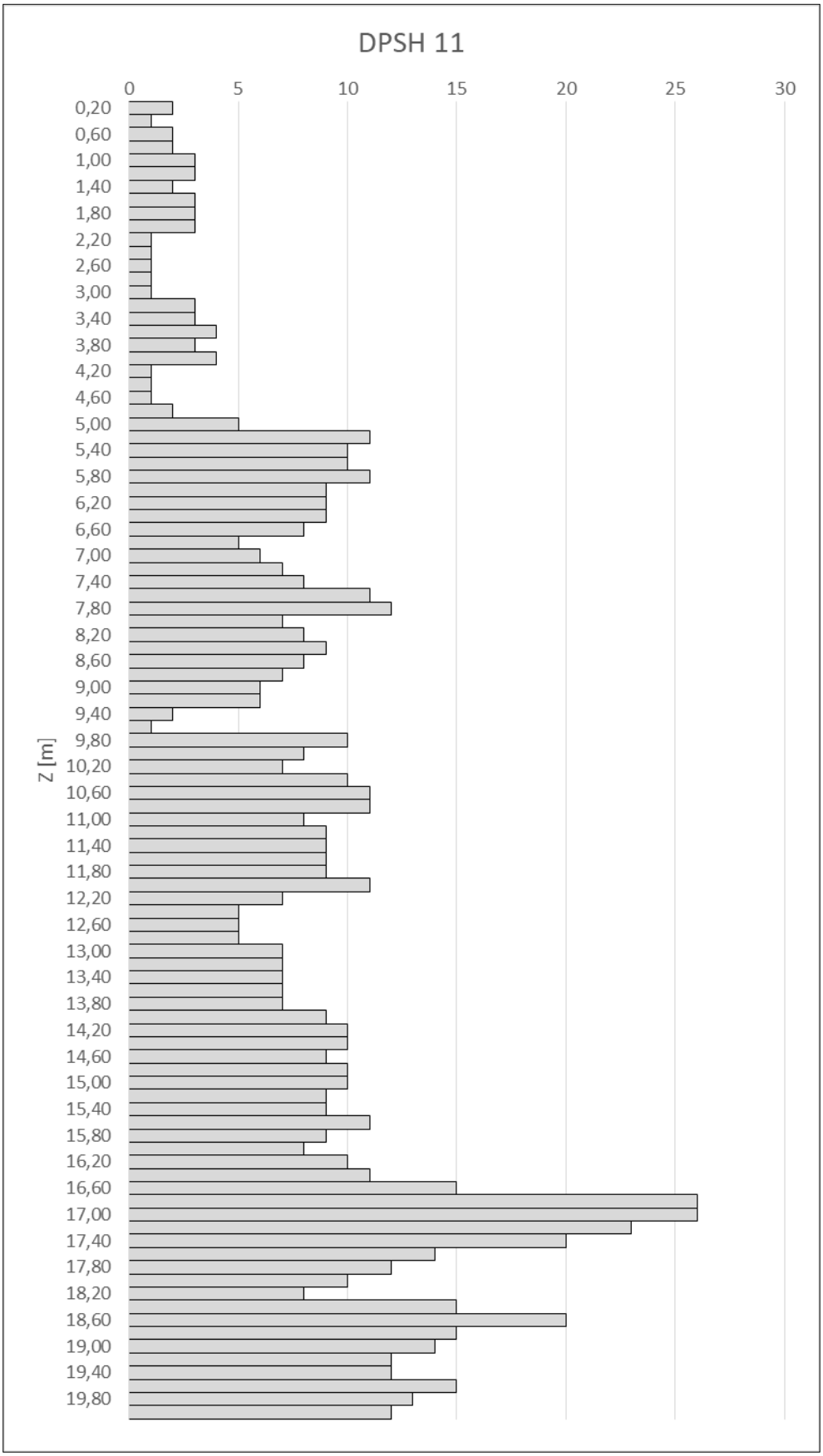

DPSH 6
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80

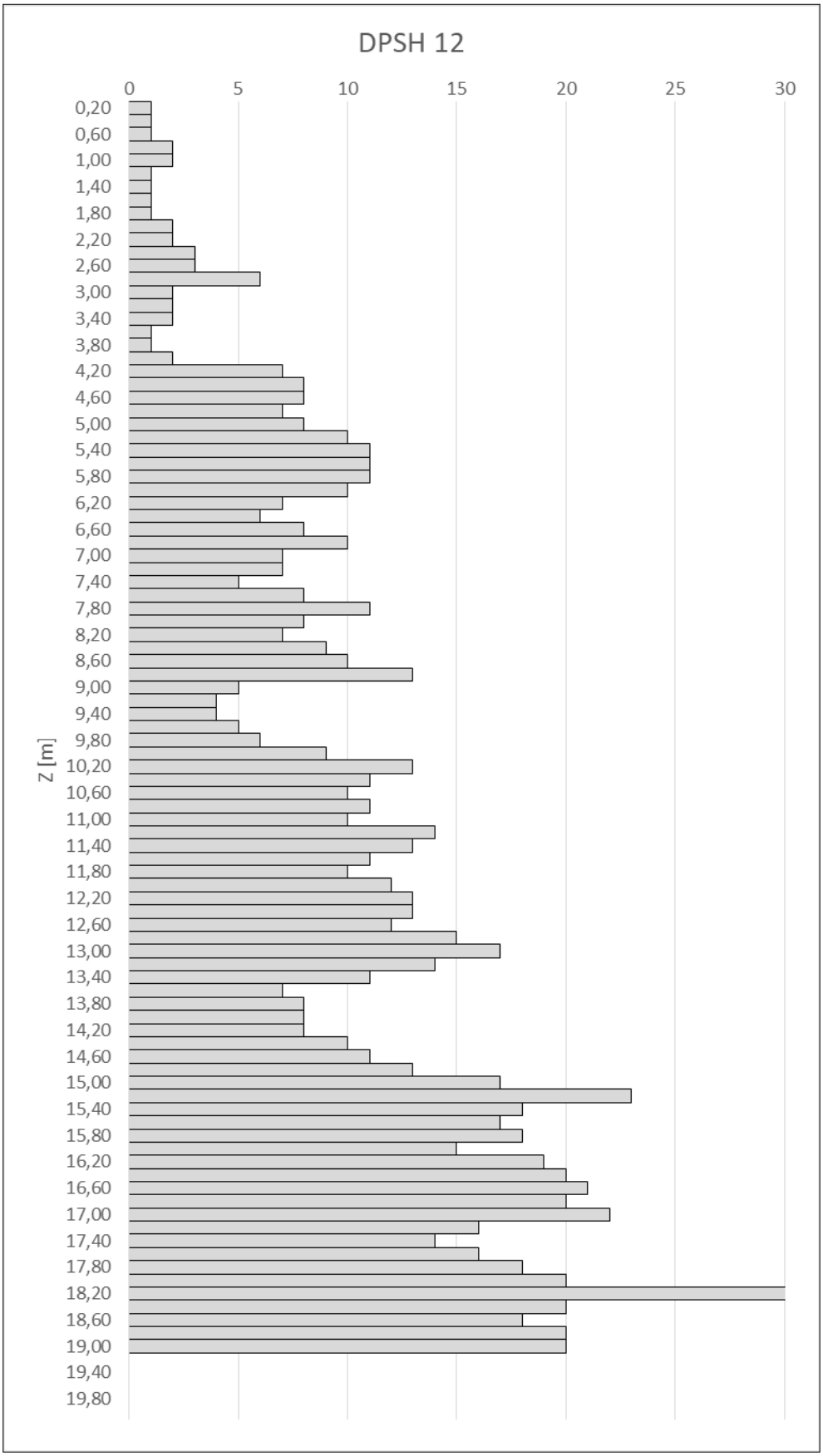

DPSH 7
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80

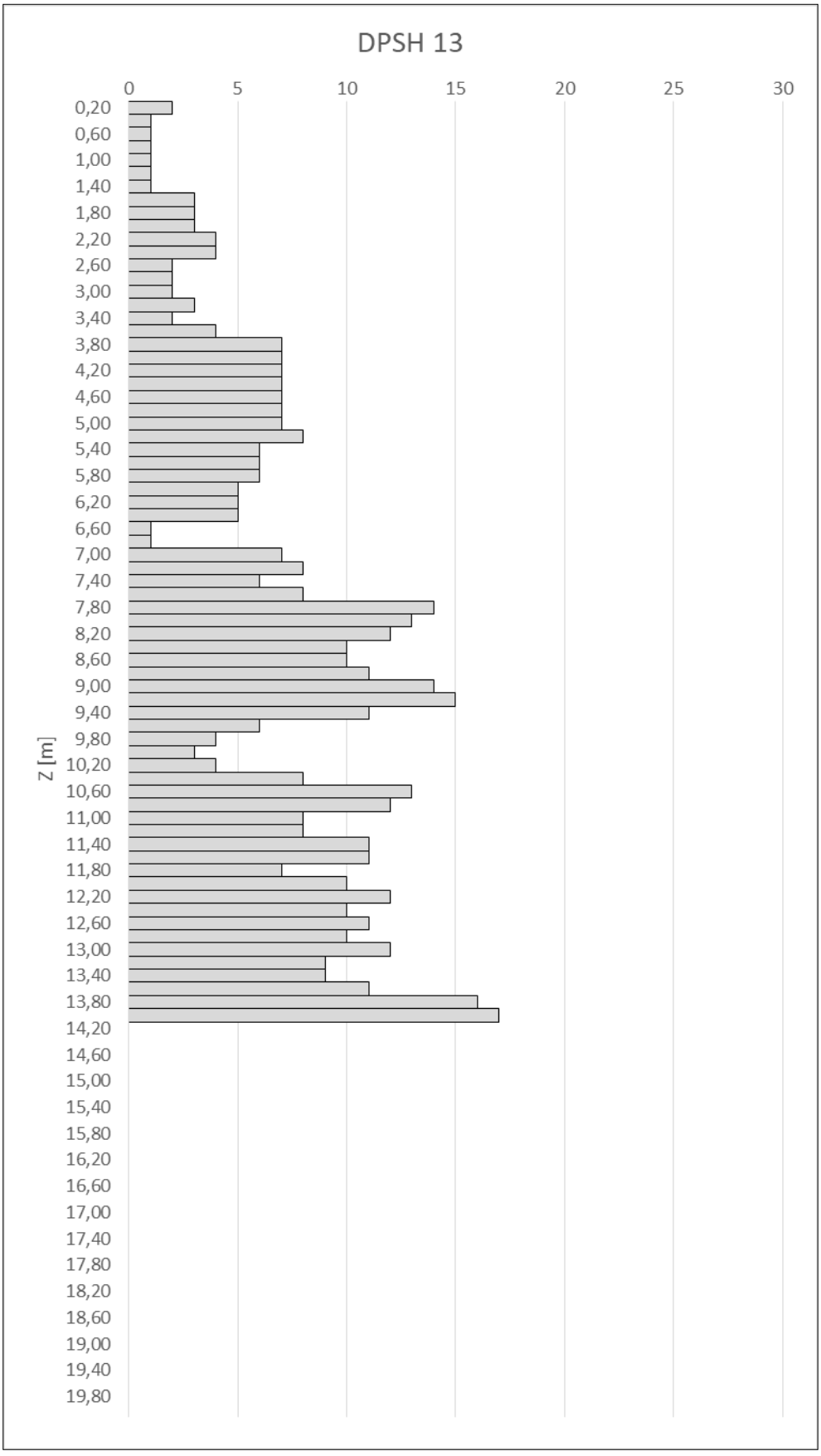

DPSH 8
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80

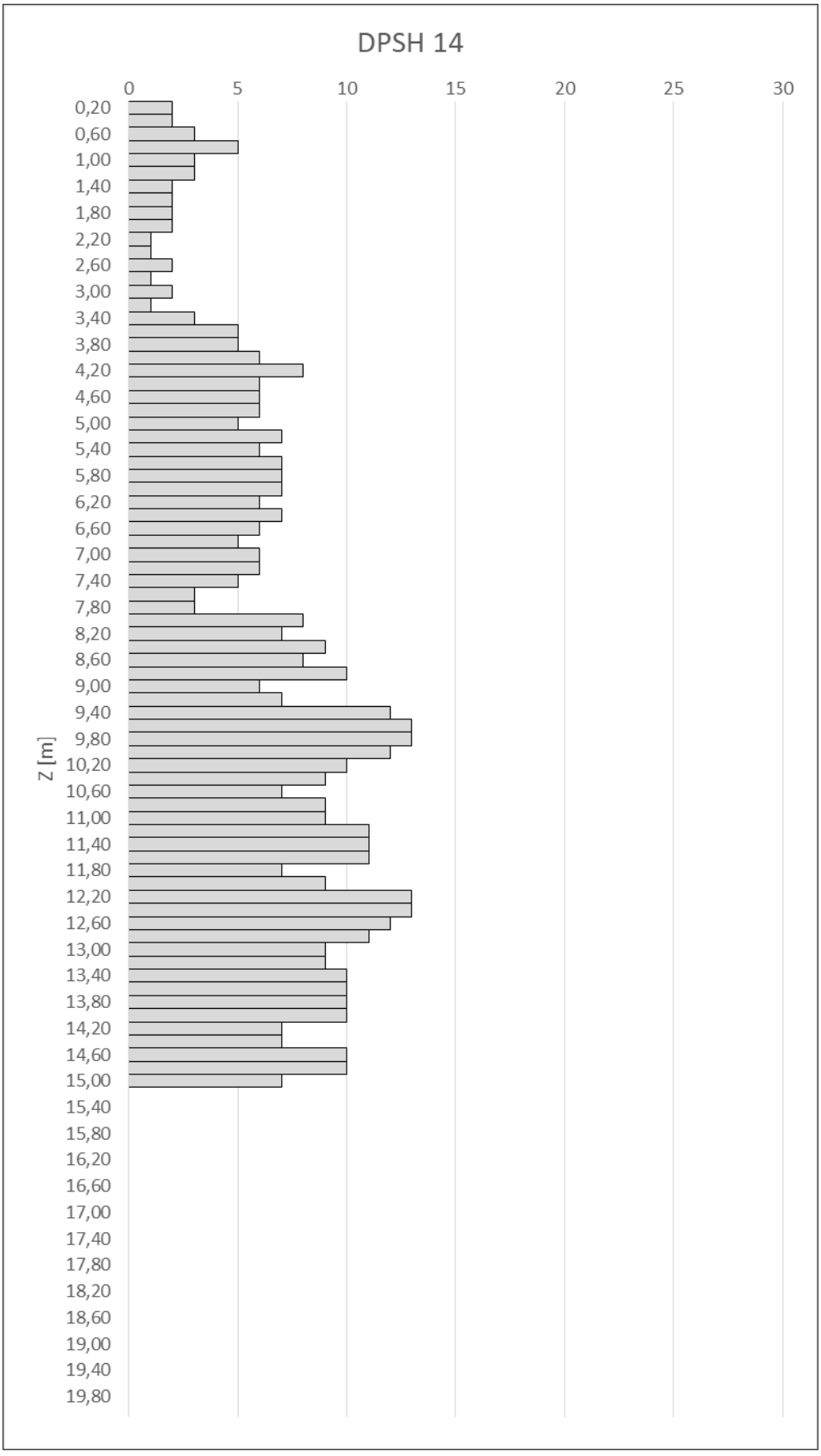

DPSH 9
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80

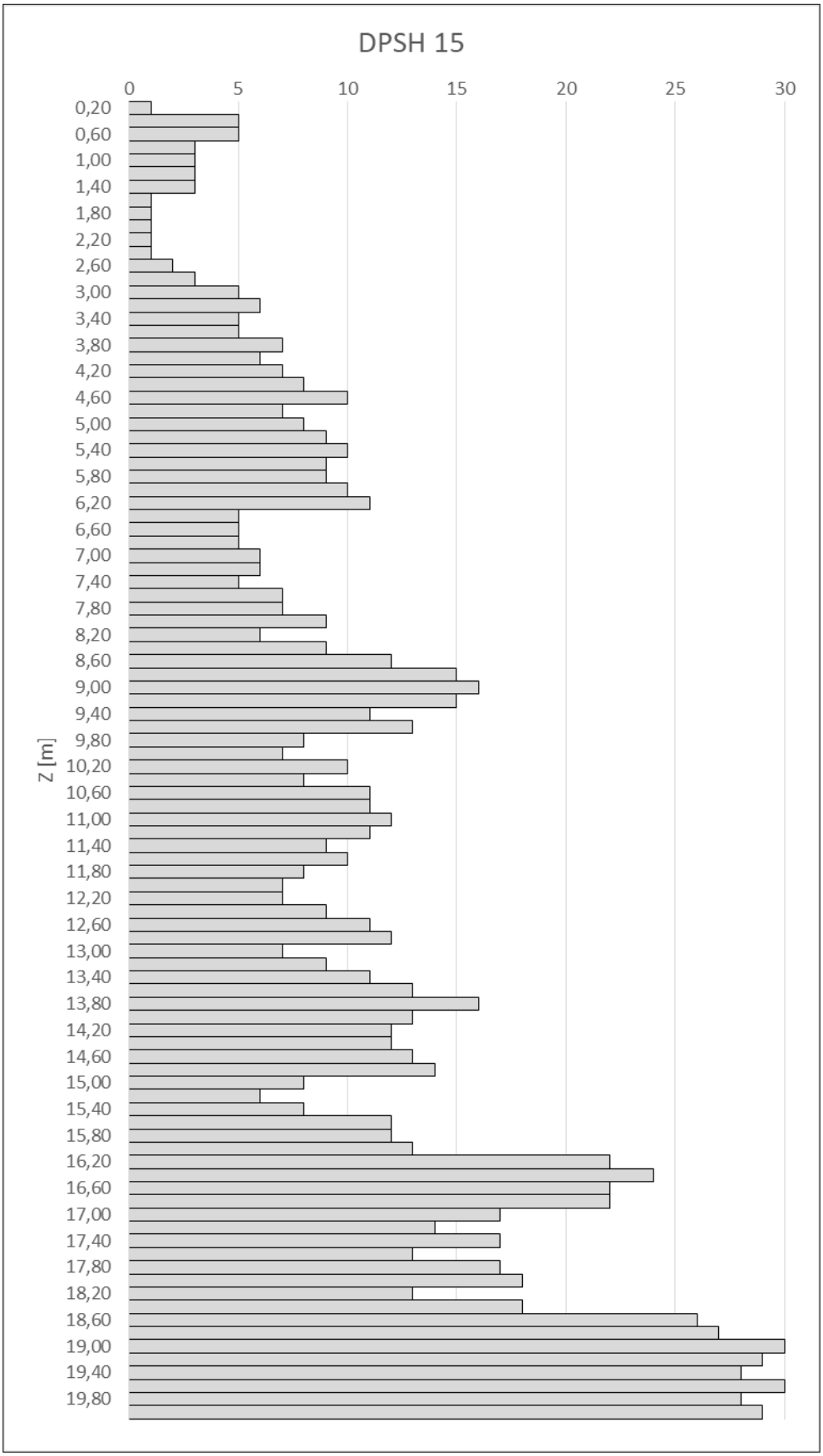

DPSH 10
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80

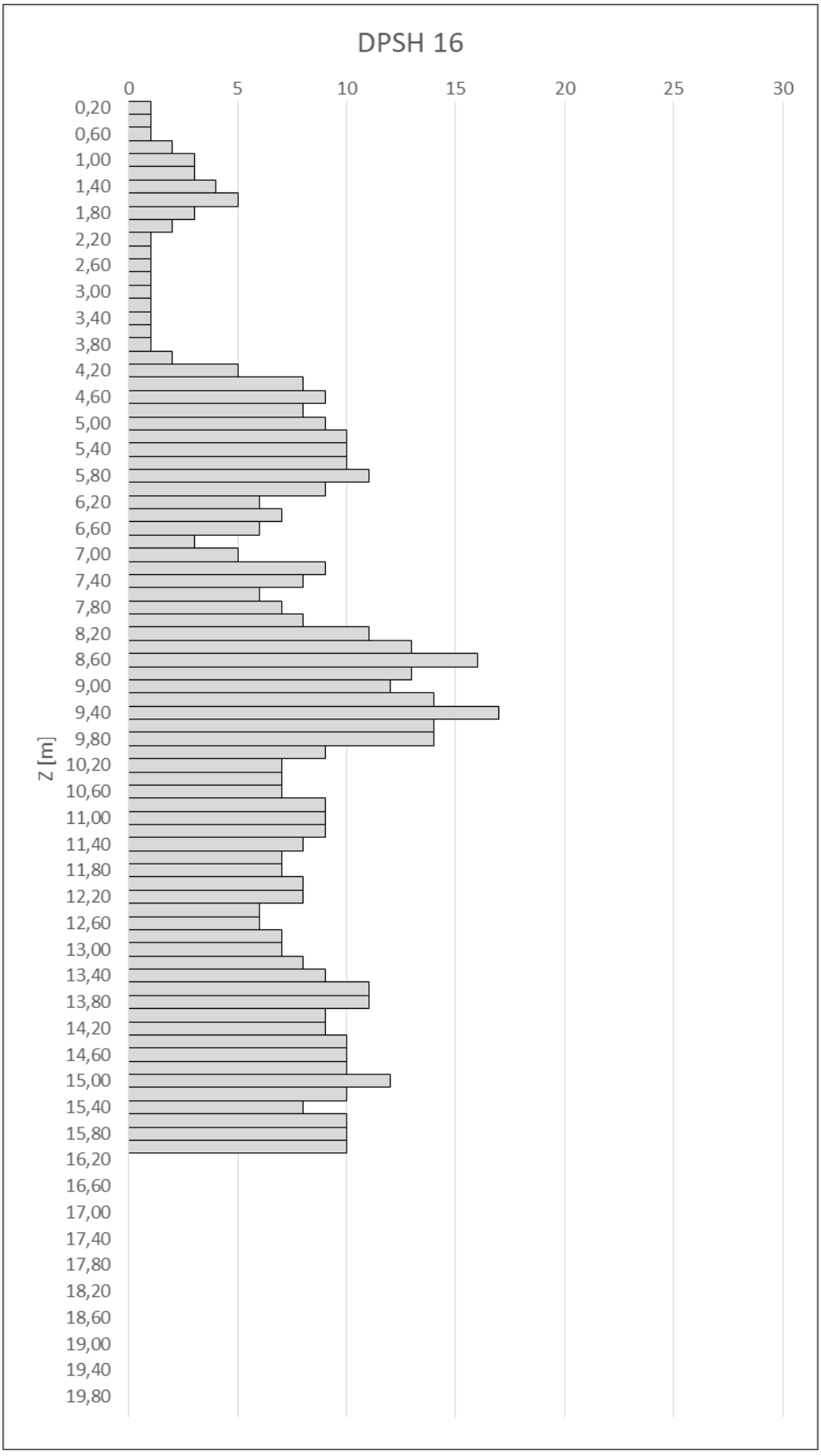

DPSH 11
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80

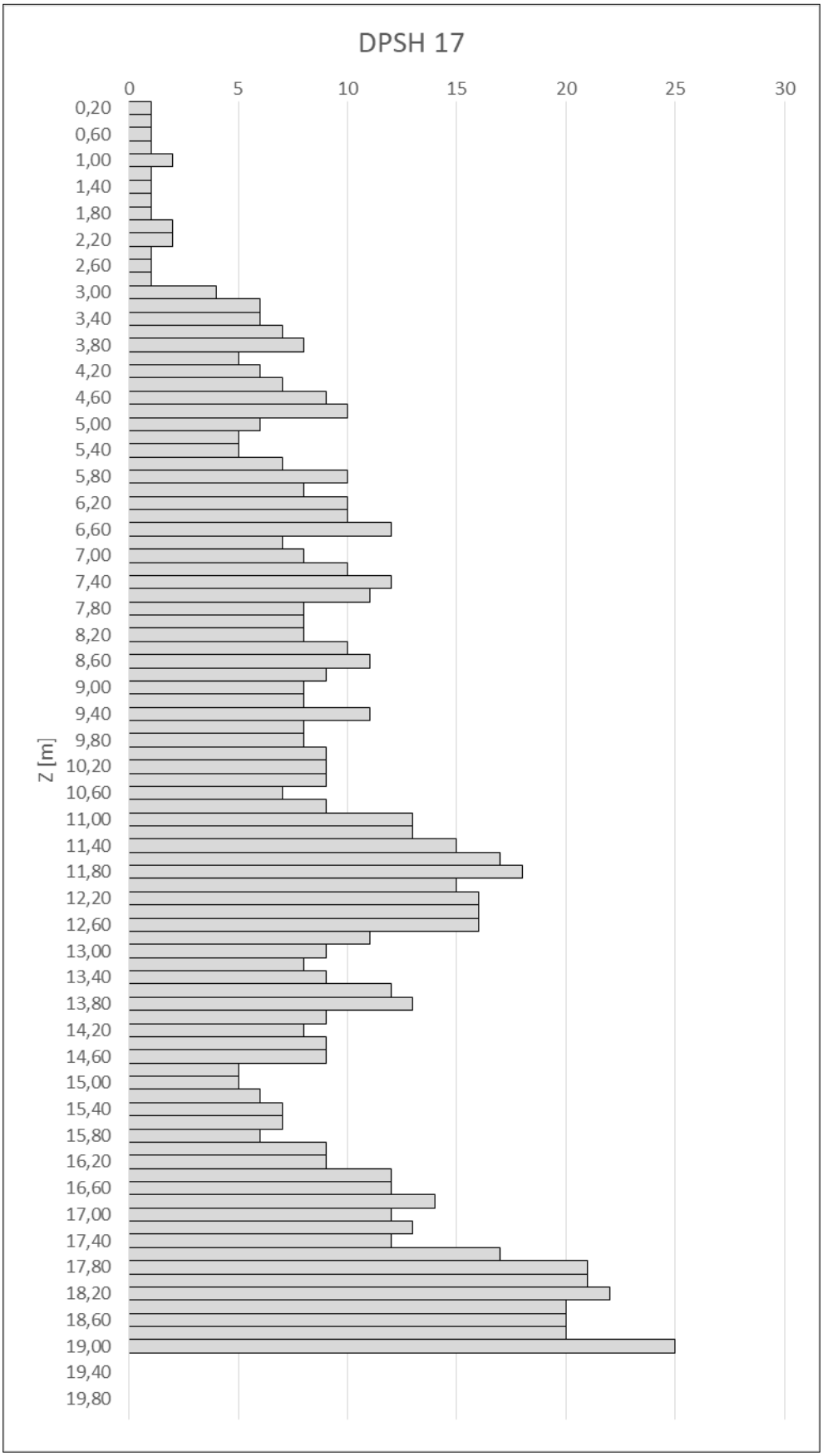

DPSH 12
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80

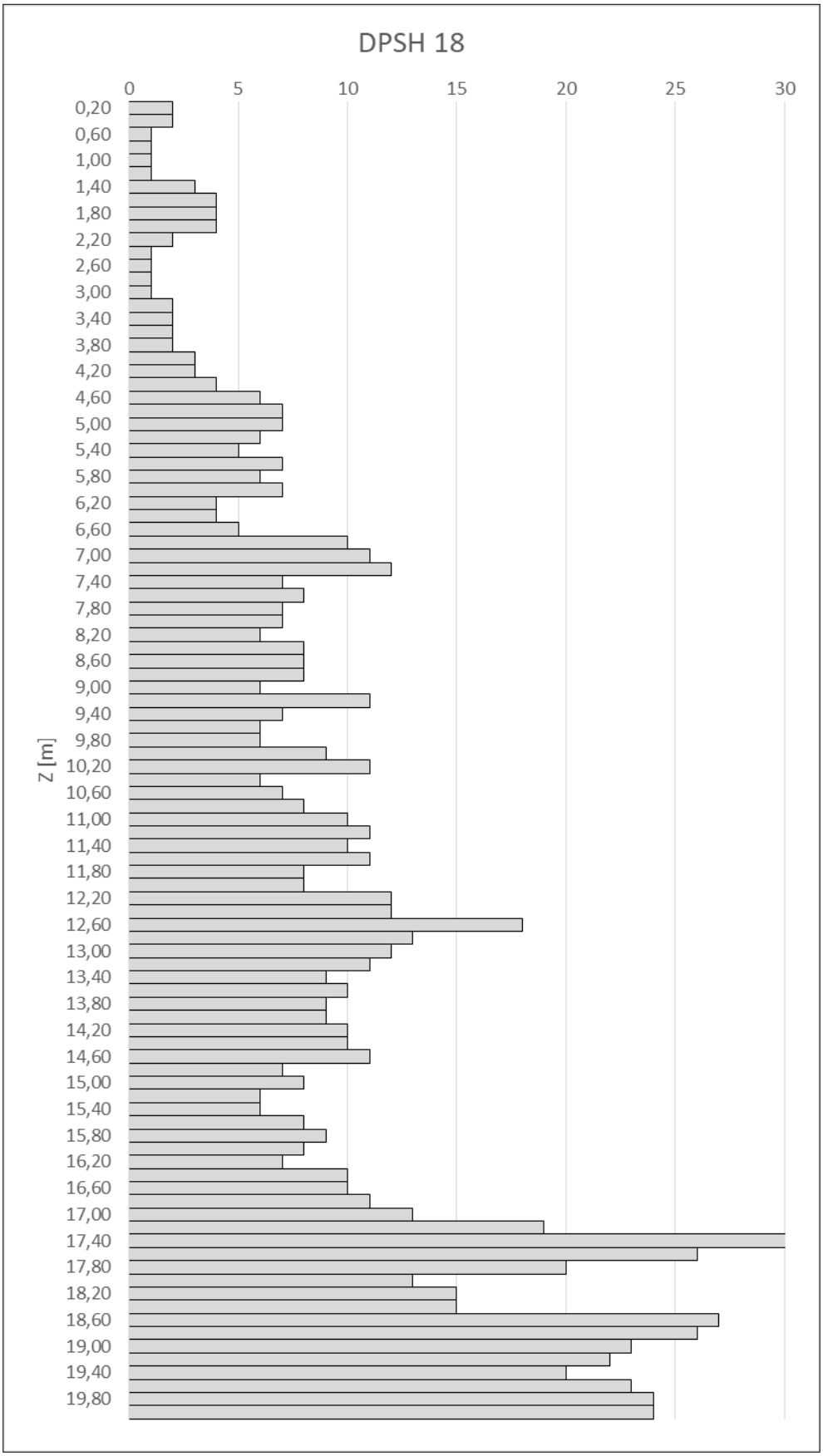

DPSH 13
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80

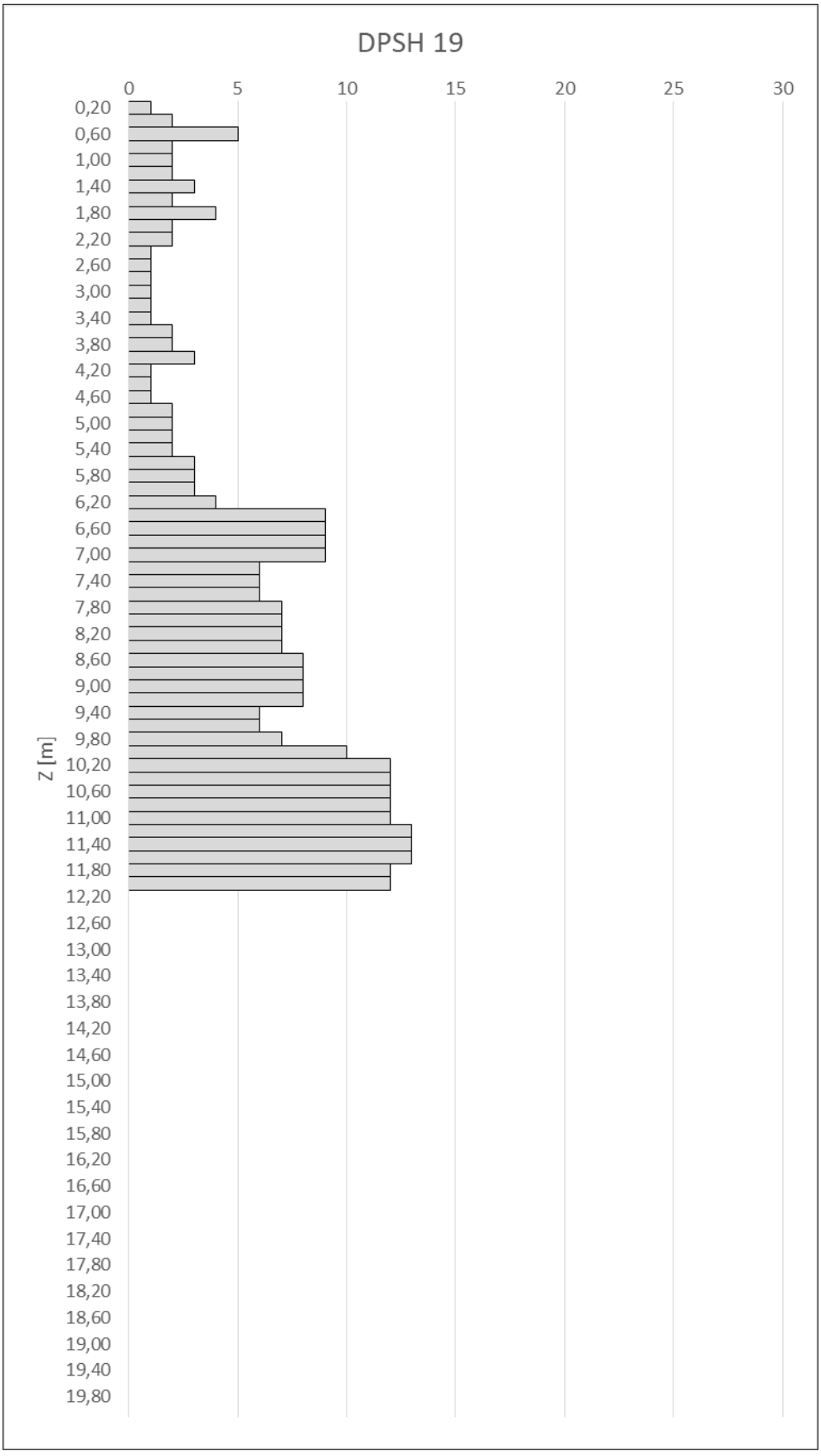

DPSH 14
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80

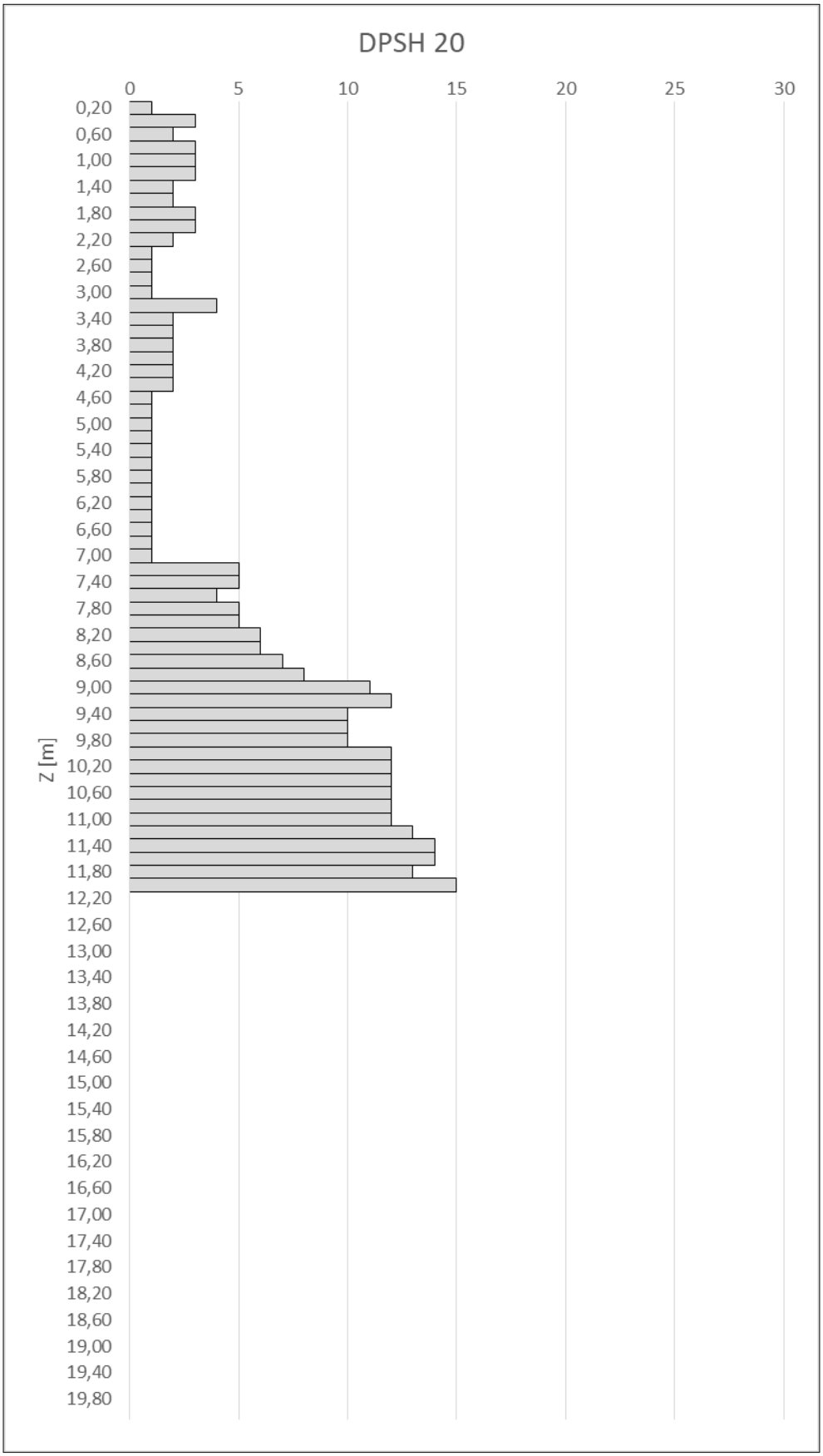

DPSH 15
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80


DPSH 16
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80


DPSH 17
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80

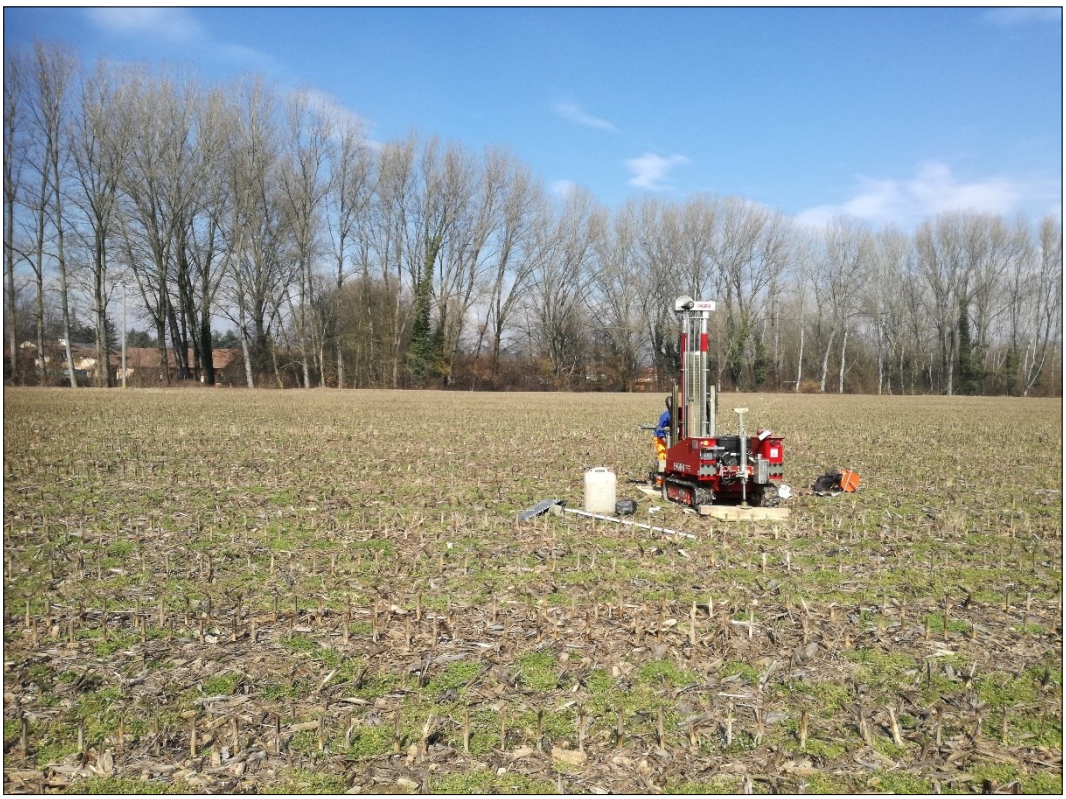

DPSH 18
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80


DPSH 19
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80


DPSH 20
0
5
10
15
20
25
30
Z [m]
0,20
0,60
1,00
1,40
1,80
2,20
2,60
3,00
3,40
3,80
4,20
4,60
5,00
5,40
5,80
6,20
6,60
7,00
7,40
7,80
8,20
8,60
9,00
9,40
9,80
10,20
10,60
11,00
11,40
11,80
12,20
12,60
13,00
13,40
13,80
14,20
14,60
15,00
15,40
15,80
16,20
16,60
17,00
17,40
17,80
18,20
18,60
19,00
19,40
19,80

APPENDICE 3

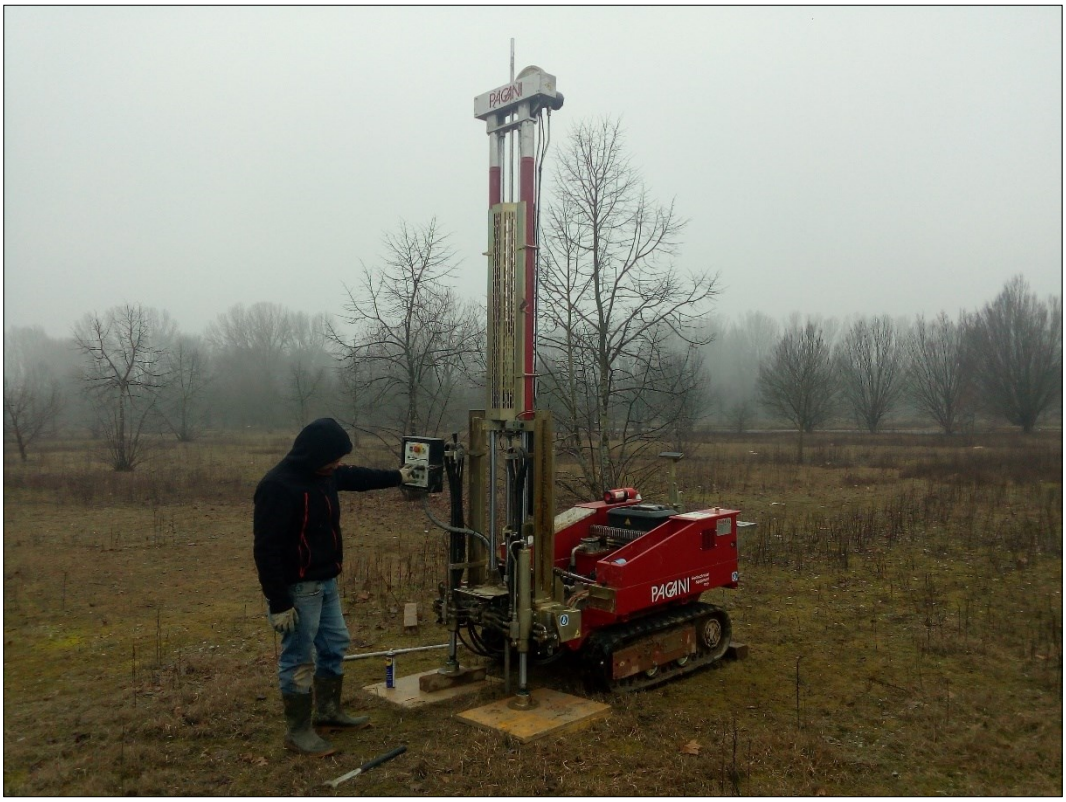
RICOGNIZIONE FOTOGRAFICA



Prova penetrometrica P2.

Prova penetrometrica P4.

Prova penetrometrica P5.



Prova penetrometrica P6.

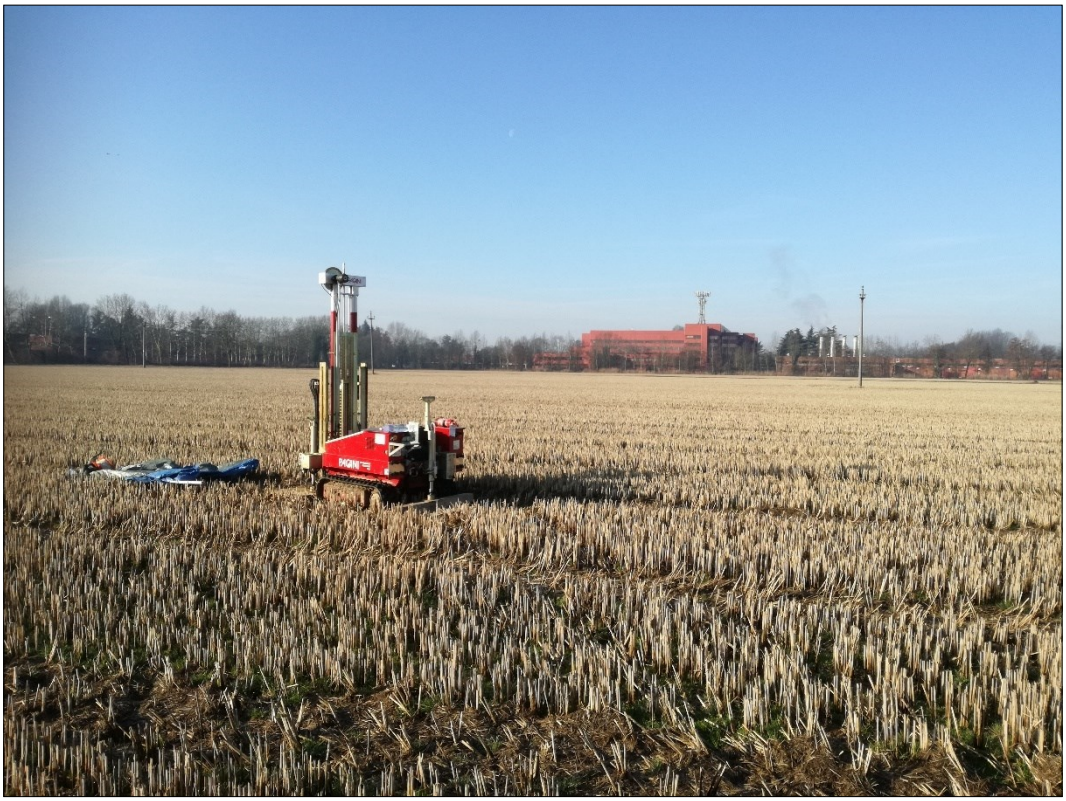
Prova penetrometrica P7.

Prova penetrometrica P8.

Prova penetrometrica P9.

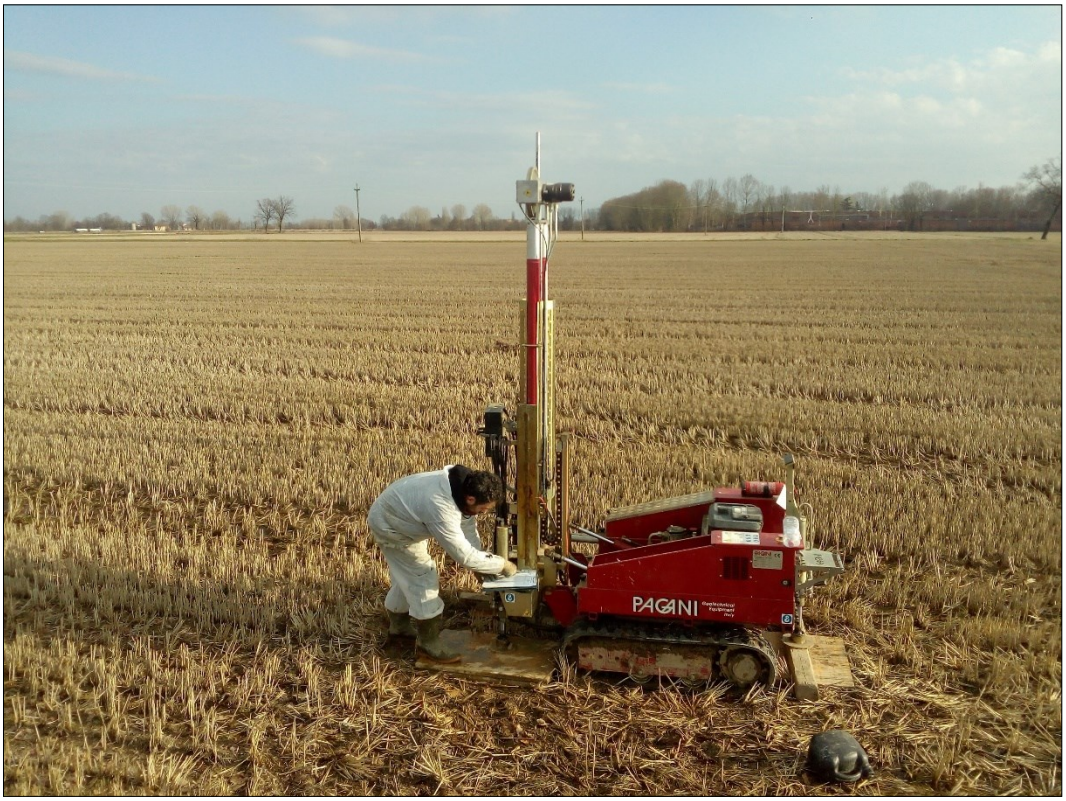
Prova penetrometrica P10.

Prova penetrometrica P11.



Prova penetrometrica P13.

Prova penetrometrica P14.



Prova penetrometrica P17.

Prova penetrometrica P18.

Prova penetrometrica P19.

Prova penetrometrica P20.

APPENDICE 4

CERTIFICATI ANALISI GRANULOMETRICHE

ENVIROLAB S.A.S.
VIA OSTIGLIA, 6 – 20133 MILANO
TEL 0273952199 - FAX 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITÀ CERTIFICATO
UNI EN ISO 9001 DA BM TRADA

Spett.le
A.F. Logistics S.p.A.

RAPPORTO DI PROVA N. 17357/18 del 26/03/2017			
Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17357
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-A	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	5,0 m		***Pagina 1 di 3***

ANALISI E PROVE

ANALISI GRANULOMETRICA	ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

NOTE: I dati grezzi sono conservati per cinque anni. I campioni vengono conservati per 2 MESI a temperatura ambiente. I risultati contenuti nel presente rapporto si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto a prova. Il documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del laboratorio.

Responsabile del Laboratorio
Silvia Dott.ssa Groppelli

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. Andrea Brambati

ENVIROLAB S.A.S.
VIA OSTIGLIA, 6 – 20133 MILANO
TEL 0273952199 - FAX 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITÀ CERTIFICATO
UNI EN ISO 9001 DA BM TRADA

RAPPORTO DI PROVA N. 17357/18 del 26/03/2017			
Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17357
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-A	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	5,0 m		***Pagina 2 di 3***

ANALISI GRANULOMETRICA
ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

Analisi per setacciatura *(via umida)*

Umidità 9,1 %
Peso secco tot. trattato 1791,1 g

Passante (mm)	%
75	100,00
19	99,28
4,75	86,52
2,36	76,52
1,40	68,31
0,425	32,42
0,15	15,65
0,075	9,23

Frazioni granulometriche ASTM caratteristiche

Ciottoli (d > 75 mm) 0,0 %
Ghiaia (4,75 < d < 75 mm) 13,5 %
Sabbia (0,075 < d < 4,75 mm) 77,3 %
Limo e argilla (d < 75 µm) 9,2 %

Descrizione

Sabbia ghiaiosa debolmente limosa

ENVIROLAB S.A.S.
VIA OSTIGLIA, 6 – 20133 MILANO
TEL 0273952199 - FAX 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

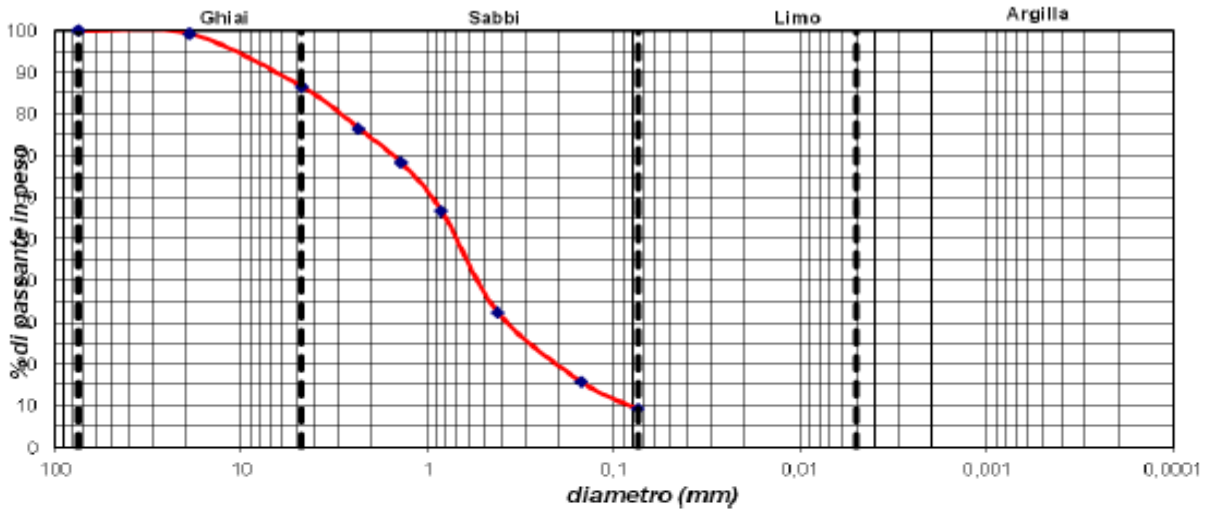
AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITÀ CERTIFICATO
UNI EN ISO 9001 DA BM TRADA

RAPPORTO DI PROVA N. 17357/18
del 26/03/2017

Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17357
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-A	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	- 5,0 m		- ***Pagina 3 di 3***

ANALISI GRANULOMETRICA
ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

CURVA GRANULOMETRICA



D_{60}		0,95 mm
D_{50}		0,70 mm
D_{10}	0,085 mm	
Coefficiente Uniformità D_{60}/D_{10}		11,18
Percentuale fine		9,2%

ENVIROLAB S.A.S.
VIA OSTIGLIA, 6 – 20133 MILANO
TEL 0273952199 - FAX 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITÀ CERTIFICATO
UNI EN ISO 9001 DA BM TRADA

Spett.le
A.F. Logistics S.p.A.

RAPPORTO DI PROVA N. 17358/18 del 26/03/2017			
Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17358
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-B	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	10,0 m		***Pagina 1 di 3***

ANALISI E PROVE

ANALISI GRANULOMETRICA	ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

NOTE: I dati grezzi sono conservati per cinque anni. I campioni vengono conservati per 2 MESI a temperatura ambiente. I risultati contenuti nel presente rapporto si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto a prova. Il documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del laboratorio.

Responsabile del Laboratorio
Silvia Dott.ssa Groppelli

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. Andrea Brambati

ENVIROLAB S.A.S.
VIA OSTIGLIA, 6 – 20133 MILANO
TEL 0273952199 - FAX 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITÀ CERTIFICATO
UNI EN ISO 9001 DA BM TRADA

RAPPORTO DI PROVA N. 17358/18
del 26/03/2017

Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17358
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-B	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	10,0 m		***Pagina 2 di 3***

ANALISI GRANULOMETRICA
ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

Analisi per setacciatura *(via umida)*

Umidità 9,1 %
Peso secco tot. trattato 1791,1 g

Passante (mm)	%
75	100,00
19	100,00
4,75	94,95
2,36	89,07
1,40	83,31
0,425	34,71
0,15	14,49
0,075	8,74

Frazioni granulometriche ASTM caratteristiche

Ciottoli (d > 75 mm) 0,0 %
Ghiaia (4,75 < d < 75 mm) 5,0 %
Sabbia (0,075 < d < 4,75 mm) 86,2 %
Limo e argilla (d < 75 µm) 8,7 %

Descrizione

Sabbia debolmente ghiaiosa

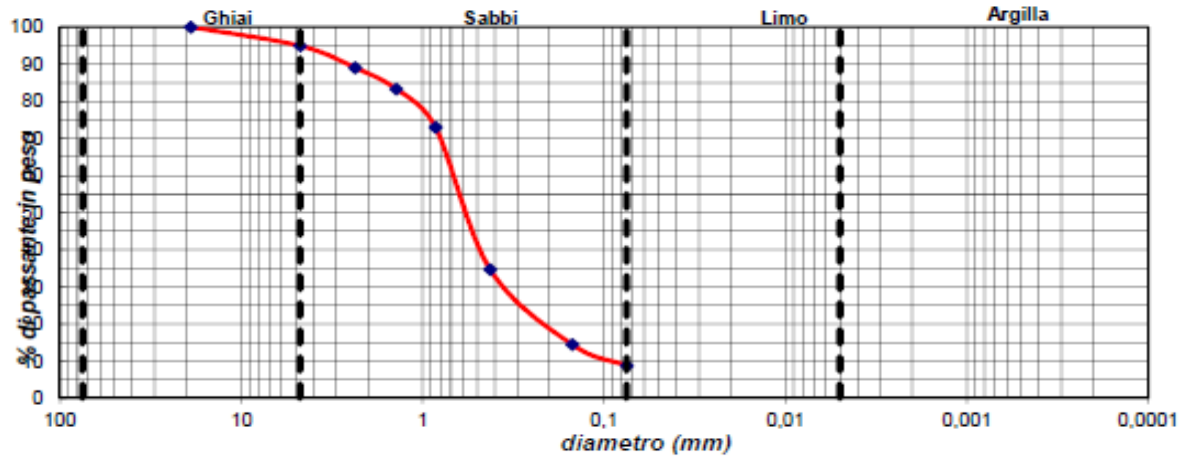
ENVIROLAB S.A.S.
VIA OSTIGLIA, 6 – 20133 MILANO
TEL 0273952199 - FAX 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITÀ CERTIFICATO
UNI EN ISO 9001 DA BM TRADA

RAPPORTO DI PROVA N. 17358/18 del 26/03/2017			
Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17358
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-B	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	10,0 m		***Pagina 3 di 3***

ANALISI GRANULOMETRICA
ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

CURVA GRANULOMETRICA



D_{60}	0,67 mm
D_{50}	0,58 mm
D_{10}	0,09 mm
Coefficiente Uniformità D_{60}/D_{10}	7,44
Percentuale fine	9,2%

ENVIROLAB S.A.S.
VIA OSTIGLIA, 6 – 20133 MILANO
TEL 0273952199 - FAX 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITÀ CERTIFICATO
UNI EN ISO 9001 DA BM TRADA

Spett.le
A.F. Logistics S.p.A.

RAPPORTO DI PROVA N. 17359/18 del 26/03/2017			
Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17359
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-C	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	15,0 m		***Pagina 1 di 3***

ANALISI E PROVE

ANALISI GRANULOMETRICA	ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

NOTE: I dati grezzi sono conservati per cinque anni. I campioni vengono conservati per 2 MESI a temperatura ambiente. I risultati contenuti nel presente rapporto si riferiscono esclusivamente al campione sottoposto a prova. Il documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del laboratorio.

Responsabile del Laboratorio
Silvia Dott.ssa Groppelli

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. Gerardo D'Onofrio

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA

ENVIROLAB S.A.S.
VIA OSTIGLIA, 6 – 20133 MILANO
TEL 0273952199 - FAX 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITÀ CERTIFICATO
UNI EN ISO 9001 DA BM TRADA

RAPPORTO DI PROVA N. 17359/18
del 26/03/2017

Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17359
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-C	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	15,0 m		***Pagina 2 di 3***

ANALISI GRANULOMETRICA
ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

Analisi per setacciatura *(via umida)*

Umidità 9,1 %
Peso secco tot. trattato 1791,1 g

Passante (mm)	%
75	100,00
19	100,00
4,75	99,64
2,36	97,39
1,40	95,82
0,425	62,07
0,15	19,80
0,075	9,76

Frazioni granulometriche ASTM caratteristiche

Ciottoli (d > 75 mm) 0,0 %
Ghiaia (4,75 < d < 75 mm) 5,0 %
Sabbia (0,075 < d < 4,75 mm) 86,2 %
Limo e argilla (d < 75 µm) 8,7 %

Descrizione

Sabbia

ENVIROLAB S.A.S.
VIA OSTIGLIA, 6 – 20133 MILANO
TEL 0273952199 - FAX 0270017045
CF / P.IVA 06388870963

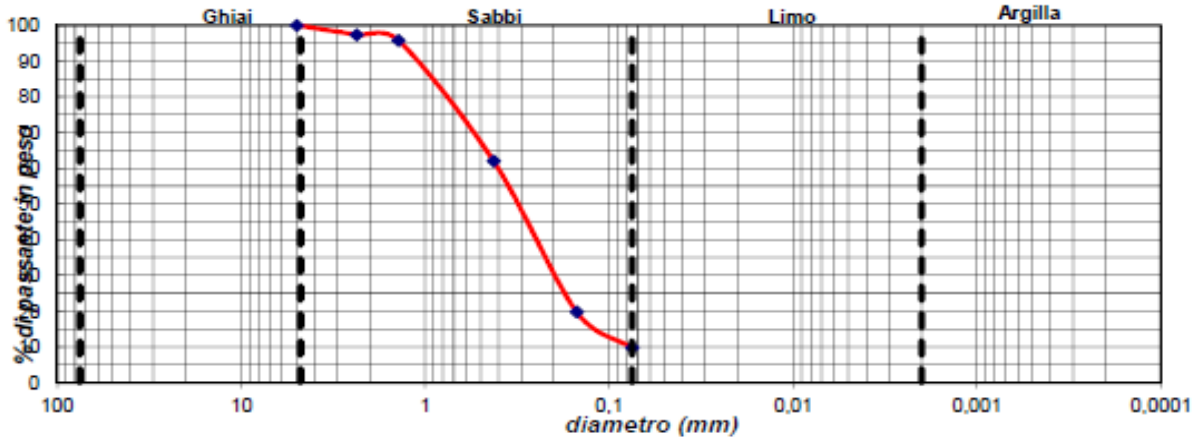
AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITÀ CERTIFICATO
UNI EN ISO 9001 DA BM TRADA

RAPPORTO DI PROVA N. 17358/18
del 26/03/2017

Matrice	Terreno	*Numero accettazione*	17358
Località prelievo	Lacchiarella (MI)	*Data prelievo*	27/02/2018
Indirizzo prelievo	Ambito di Trasformazione H	*Data accettazione*	02/03/2018
Prelevato da	Dr. Andrea Brambati	*Data apertura campione*	05/03/2018
Campione	C1-C	*Data fine analisi*	23/03/2018
Punto di prelievo	15,0 m		***Pagina 3 di 3***

ANALISI GRANULOMETRICA
ASTM D 421, D 422, Racc. AGI 1994

CURVA GRANULOMETRICA



D_{60}	0,40 mm
D_{50}	0,32 mm
D_{10}	0,07 mm
Coefficiente Uniformità D_{60}/D_{10}	5,71
Percentuale fine	9,2%